*

FREDERICK NISSEN

Kampf mit Molekülen



Frederick Nissen

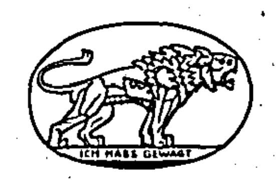
Kampf mit Molekülen

Kampf mit Molekülen

Von

Prof. Dr. Frederick Nissen

2. verbesserte Auflage



J. F. Lehmanns Verlag, München / Berlin 1942

1. Teil.

Das Kampfgebiet wird umschritten

1.

Es gibt wohl heute keinen Menschen und vor allen Dingen keinen Deutschen, der nicht wüßte, welche gewaltigen Aufgaben die Chemie zu erfüllen und wieviele sie bereits gelöst hat. Mehr als in früheren Tagen berichten die Zeitungen von Forderungen und Zielen, die diese noch vor wenigen Jahren mit Geheimnissen umwobene Wissenschaft sich stellt, und kaum eine Stunde vergeht, in der nicht Erzeugnisse der einstmals verachteten „Schwarzen Kunst" bestimmend und gestaltend für uns und auf uns wirken. Ohne chemische Kenntnisse würde der ausgesogene Acker nur wenigen kärgliches Brot spenden und die übrigen, von Hunger getrieben, in Ferne und Krieg treiben. Eisen und Kohle in veredelter Form, Farbstoffe und Heilmittel, Kunstseide und Kautschuk, Glas, Steingut und Porzellan, Mörtel, Zement und Beton, Soda und Seife — um nur Weniges und Bekanntes zu nennen — sind Schöpfungen des Chemikers und heute in einem zivilisierten Staate nicht mehr fortzudenken. Dabei ist die Chemie als Wissenschaft, obschon einzelne chemische Prozesse bereits sehr lange bekannt sind, noch recht jung. Knapp 150 Lebensjahre billigen wir ihr zu, und so ist sie unter den altehrwürdigen Vertretern der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät eine der jüngsten, deren stürmische Entwicklung jedoch mehr noch als die anderen unserer Kultur einen nicht zu verkennenden Stempel aufgedrückt hat. Vornehmlich deutscher Forscher- und Erfindergeist ist an dieser Umgestaltung beteiligt, und der deutsche Chemiker ist nicht nur im In- und Auslande geachtet, sondern draußen auch — gefürchtet; denn seine Arbeiten haben den Handel und damit die Lebenshaltung ganzer Staaten entscheidend beeinflußt, wie es etwa die künstliche Herstellung des Indigos und Krapprots, in noch stärkerem Maße die synthetische Bereitung des Chilesalpeters bewirkt haben, Und die Verfahren etwa zur Herstellung von Kunstbenzin, Zellwolle und Kautschuk sind wohl dazu berufen, uns nicht nur ein beruhigendes Gefühl von Unabhängigkeit zu verleihen, sondern auch — wenn auch nicht von heute auf morgen — als gefährliche Konkurrenten für die natürlich vorkommenden Produkte den internationalen Markt schwer zu erschüttern. Das wird uns nicht gerade Freunde gewinnen helfen; doch wäre die Chemie diesen Weg, der heute aus Not — nicht zum wenigsten durch Unverstand Mißgünstiger verursacht — schnell durcheilt wird, auch

ohne diesen Antrieb gegangen. Der Kampf Kunst- gegen Naturseide war schon vor dem Kriege entbrannt, der natürliche Indigo schon um die Jahrhundertwende durch den synthetischen ersetzt, die Vorarbeiten für künstlichen Kautschuk und zur Bindung des Luftstickstoffs schon lange vor 1914 aufgenommen! Chemie ist heute eine volkstümliche Wissenschaft geworden; von ihr erhofft man viel. Aus dem bescheidenen Aschenbrödel des Mittelalters, in dem der Alchimist in der Gunstbezeugung der Masse nicht weit von dem Marktausrufer zu finden war, ist eine stolze Schöne geworden, von der jeder mit Hochachtung spricht —, von der die meisten jedoch nicht einmal den Namen zu deuten wissen.

In den meisten Fällen pflegt der Name einer Wissenschaft bereits anzugeben, welches Gebiet in ihr umfaßt wird. So beschäftigt sich die Zoologie (vom griechischen zoon = Leben und logos — Wort, Lehre) mit der Tierkunde, die Botanik (vom griech. botane = Kraut) mit der Pflanze, die Astronomie (griech.) mit der Sternkunde, die Biologie (vom griech. bios = Leben) mit der Lehre vom Leben, die Geologie (griech.) mit der Erdgeschichte, die Geographie (griech.) mit der Erdbeschreibung, die Mineralogie (vom mittellateinischen minera = Bergwerk, Erzgrube) mit der Gesteinskunde, die Kristallographie (griech.) mit der Beschreibung von den Kristallen. Anspruchsvoller ist die Physik, die große Gegenspielerin für die Chemie in der Gunst der Massen, welche sich schlechtweg als Naturlehre (vom griech. physis = Natur) bezeichnet. Bei der Chemie jedoch gibt uns der Name selbst überhaupt keine Auskunft mehr darüber, welche Naturerscheinungen ihrem Gebiet angehören; ja, wir wissen nicht einmal ganz genau den Ursprung dieses Wortes anzugeben. Sehr wahrscheinlich ist das Wort „Chemie" sehr alt und bedeutet nichts weiter als — schwarz.

Schon das Mittelalter bezeichnet den Chemiker als „Schwarzkünstler" und seine Hantierungen schreibt es der „schwarzen Kunst" zu. Aber der Ausdruck chemi = schwarz ist viel älter. Er stammt wahrscheinlich aus dem Koptischen und ist die Bezeichnung der Araber für das Ackerland Ägypten, dessen Boden im Gegensatz zu ihrem eigenen sich „schwarz" ausnahm, was den Wüstenbewohnern als erste große Besonderheit in dem unbekannten Lande auffallen mußte.

Hier nun hatte die Priesterkaste zur Stärkung und Bewahrung ihres Ansehens Naturerkenntnisse gesammelt, die sich so wunderbar zu eigener Machterweiterung — weil für den Nichtkenner unerklärlich — verwenden lassen. Zweifellos war ihnen die Gewinnung von Kupfer, Bronze, Eisen und Antimon (dem ersten Schminkmittel) schon ebenso bekannt wie das Färben mit Krapp, Indigo und Purpur. Fäulniswidrige Stoffe machten die Mumien über Jahrtausende haltbar, und daß die Kenntnis von Heilstoffen ebenso wie die von Giften zeitweise sehr nützlich sein kann, wußten nicht nur römische Herrscher und Priester.

Die Araber, die Nachfolger und Erben der ägyptischen Kultur, übernahmen neben vielem anderen auch die Kenntnisse der ägyptischen Priester des Nillandes in der ziemlich hoch entwickelten Kunst der „chemischen" Umsetzungen. (Alle schriftlichen Aufzeichnungen sind höchstwahrscheinlich bei dem Brand der alexandrinischen Bibliothek im Jahre 48 v. u. Z. verloren gegangen.) Durch Voransetzen des Artikels „al" hieß die ägyptische (schwarze) Kunst dann Alchemie. Der Artikel „al" ist später, als die moderne Chemie einen deutlichen Trennungsstrich zwischen den neuerworbenen Kenntnissen und den mehr oder weniger verrufenen Künsten des mittelalterlichen Alchimisten ziehen wollte, wieder gefallen.

Das ist höchstwahrscheinlich die Frühgeschichte der Chemie.

Wenn wir aber weiter ehrlich bleiben wollen, müssen wir bekennen, daß unsere deutliche Frage nach dem, was die chemische Wissenschaft nun eigentlich will und treibt, noch keineswegs genau beantwortet ist; denn die Erklärung, daß die Chemie deshalb so heißt, weil in Ägypten schon früh chemische Umsetzungen bekannt waren und chemische Kenntnisse gesammelt wurden, mutet doch sehr ähnlich an wie diejenige des Reuterschen Inspektors Bräsig, daß die Armut von der „Powerteh" herrühre.

Es bleibt demnach wohl nichts anderes übrig, wenn auch der bisherige Pfad nicht ganz nutzlos gegangen worden ist, als uns dem erstrebten Ziele auf anderem Wege zu nähern — scheinbar wieder auf einem Umwege. Denn auch die kurze und wenig freundliche Begriffsbestimmung des Lernenden: Chemie ist, wenn es stinkt, Physik, wenn es kaputt geht, mag ganz anschaulich sein, vermag jedoch höheren Ansprüchen an Genauigkeit, wie der Wissenschaftler und natürlich wir sie stellen müssen, kaum zu genügen. Sie bezieht sich wohl auch mehr, jedenfalls in dem zweiten Falle, auf den Experimentierenden als auf die Wissenschaft selbst.

2.

Die Natur in ihrer Mannigfaltigkeit bietet der Anschauung ein fast erdrückendes Material. Die erste Aufgabe, die dem Menschen daraus erwuchs, wenn er sich in diesem Reichtum zurechtfinden, wenn er für ihn Wichtiges vom Unwichtigen, Nützliches vom Schädlichen und Gefährlichen unterscheiden wollte, war die Beschreibung

dieser Außenwelt, damit seine Erfahrungen und Beobachtungen späteren Geschlechtern zugute kamen. Zoologie und Botanik mögen somit zu den ersten Naturwissenschaften gehört haben, die der Mensch ausgeübt hat. Heute fassen wir diese beiden unter dem gemeinsamen Namen „Naturbeschreibung" zusammen.

Nachdem der Mensch die äußeren Erscheinungen der belebten Natur hinreichend kennengelernt hatte, drängte sein forschender Geist danach, die Ursachen — die *Gesetze* — zu finden, nach denen sich das Leben aller dieser Wesen abspielt. Die „Lehre vom Leben" — die Biologie — heißt diese Wissenschaft, die, ohne Naturbeschreibung undenkbar, sich zusammen mit Physik, Chemie und anderen mehr in einigermaßen starker Selbstüberschätzung „exakte" (genaue) Naturwissenschaft nannte, obwohl Botanik und Zoologie nach unserer heutigen Auffassung nicht weniger exakt sind. Die Trennung dieser beiden Gruppen ist jedoch bis auf unsere Tage erhalten geblieben, und so reden wir auch heute noch von Naturbeschreibung einerseits und exakten Naturwissenschaften andererseits.

Die Einordnung der sämtlichen Naturerscheinungen in ein System von Wissenschaften ist ein Erzeugnis des menschlichen Geistes; in der Natur selbst ist diese Ordnung nicht gegeben. Die einzelnen Gebiete sind durchaus nicht fest gegeneinander abgegrenzt; die Natur arbeitet in steten Übergängen. Gewiß wird niemand den Eisbären der Botanik zuweisen oder die Sonnenblume dem Tierreich; aber bei den kleinsten Lebewesen ist immer noch nicht ausgemacht, ob das Tier nun eigentlich eine Pflanze oder die Pflanze ein Tier ist. Zahlreicher noch als zwischen Botanik und Zoologie sind solche Übergänge zwischen der Physik und der Chemie, so daß man sogar verzweiflungsvoll dazu gekommen ist, diesen Grenzfällen ein eigenes Gebiet einzuräumen, welches bezeichnenderweise den Namen „physikalische Chemie" trägt und das in seiner Ausdehnung den beiden Naturwissenschaften gleich ist und sie, ähnlich wie Chronos seine Kinder, fast zu verschlingen droht.

Um nun endlich die Chemie von der Anklage des üblen Geruchs und die Physik von derjenigen der Zerstörungswut zu befreien, mögen zunächst einige allgemein bekannte physikalische und chemische Vorgänge herangezogen werden, an denen sich das Wesen dieser beiden Naturwissenschaften erkennen läßt.

Leitet man den elektrischen Strom durch Metalldrähte, so erwärmen sie sich. Das wissen wir alle. Will man sie besonders stark erhitzen, etwa um das dabei ausgestrahlte Licht für Beleuchtungszwecke zu benützen, so muß man sie recht dünn machen. Auch das

ist uns bekannt. *Welche* Metalldrähte dabei für diese Versuche benutzt werden, ist gleichgültig. *Alle* Metalldrähte erwärmen sich beim Stromdurchgang, und um so stärker, je dünner sie sind. Damit haben wir aber zwei physikalische *Gesetze* ausgesprochen, die von allgemeiner Gültigkeit sind. Wir werden jetzt also auch auf Grund dieser Kenntnisse von einem uns bisher noch in seinen Eigenschaften unbekannten Metall annehmen dürfen, daß es sich beim Stromdurchgang erwärmt, und werden den Draht daraus, wenn er sich nicht stark erhitzen soll, dick und nicht dünn machen. Wir können also, wenn uns Gesetzmäßigkeiten bekannt sind, Vorgänge voraussagen, Prophezeiungen auf wissenschaftlicher Grundlage aussprechen, die wesentlich billiger und auch zuverlässiger sind als jede Prophetie aus dem Kaffeesatz. Da die Kenntnis derartiger Gesetzmäßigkeiten zudem den Überblick über die Erscheinungswelt sehr stark vereinfacht, ist es wohl verständlich, daß das Streben des Menschen darauf gerichtet ist, derartige Gesetzmäßigkeiten zu finden.

Schauen wir uns unsere inzwischen kalt gewordenen Metalldrähte wieder einmal an. Etwa den Draht einer Glühlampe. Wir werden gegenüber früher keine Veränderung an ihm entdecken können. Folgerungen werden ein paar Zeilen weiter unten daraus gezogen. Hier sei nur schon gesagt, daß die beschriebenen Vorgänge rein physikalischer Art sind.

Betrachten wir nun einmal dagegen eine chemische Umsetzung.

Wird ein Ofen mit Kohle geheizt, so weiß jedes Kind, daß sie bis auf geringe Aschenbestandteile allmählich verschwindet. Allerdings tritt das nur ein, wenn dem Brennmaterial Luft zugeführt wird. Die Kohe verbrennt zu gasförmigen Bestandteilen, die aus dem Schornstein entweichen und nicht mehr die geringste Ähnlichkeit mit dem ursprünglichen Heizmaterial haben. Daß uns normalerweise die Verbrennungsprodukte nicht interessieren, sondern nur die bei der Umsetzung entstehende Wärme, spielt dabei keine Rolle. Auch Wasser, das wir mit einem derartigen Kohlefeuer erhitzen, geht allmählich in den gasförmigen Zustand über. Aber nichts ist leichter, als diesen Dampf wieder in die frühere flüssige Form zurückzuführen: Man braucht ihn nur abzukühlen. Beide Vorgänge, die Verbrennung der Kohle einerseits und das Sieden des Wassers andererseits, unterscheiden sich somit grundsätzlich voneinander; beim ersten ist eine weitgehende und mit einfachen Mitteln nicht wieder rückgängig zu machende Veränderung eingetreten, beim zweiten nicht.

Und damit sind wir endlich am gewollten Ziel! Jetzt können wir

das Wesen chemischer Vorgänge kennzeichnen, wobei zugleich die nahe verwandte Physik mit einbezogen werden mag.

Beide Wissenschaften handeln von Gesetzmäßigkeiten der Natur, und zwar behandelt die *Physik* diejenigen Gesetzmäßigkeiten, bei denen die Stoffe *keine* Veränderungen erleiden. Im Gegensatz dazu handelt die *Chemie* von den Gesetzmäßigkeiten, bei denen die Materie *tiefgreifende* Veränderungen erfährt.

Die Menschheit ist, und mit Recht, darauf stolz, der Natur einige ihrer Geheimnisse in Form von Gesetzmäßigkeiten entrissen zu haben. Daraus aber zu folgern, daß die Erforschung der letzten Dinge nunmehr gelungen wäre und es Rätsel nicht mehr zu lösen gäbe, ist mindestens unbescheiden und die Beweisführung des an der Oberfläche plätschernden Halbgebildeten. Wohl ist es uns geglückt, unsere Naturkenntnisse zu vertiefen; jedoch schon die Frage nach dem „Woher", „Warum" oder „Wozu" der Naturgesetze richtet wieder neue, gewaltige und, es sei gleich hier gesagt, unübersteigbare Schranken vor uns auf.

Wenn die Chemie Gesetzmäßigkeiten finden soll, bei denen sich die Stoffe tiefgreifend verändern, so muß sie auch, und das ist eine zweite wesentliche Aufgabe, die Stoffe kennen und bechreiben, an denen sich diese Verwandlungen vollziehen.

Als drittes wichtiges Gebiet ist dann noch die chemische Technik zu nennen, in der die gewonnenen chemischen Erkenntnisse ihre für die Menschheit nützliche Anwendung finden.

3.

Die Mannigfaltigkeit der Natur ist außerordentlich groß. Wollte man alle Stoffe, die auf der Erde vorhanden sind, gewissenhaft notieren, so würde das bei ziemlich engem Druck ein Buch mit der stattlichen Seitenzahl von mindestens 1000—1200 ausmachen. Die Anzahl der Dinge, die Menschenhand aus diesen verschiedenen Stoffen zu bilden imstande ist, ist noch weit größer. Wie soll man sich in dieser Fülle zurechtfinden? Wo ist ein Anfang, von dem aus sich langsam dieses große Gebiet erobern läßt?

Betrachten wir einmal ein einfaches Stück weißes Papier!

Durch einen Schnitt mit der Schere läßt es sich leicht in zwei Teile schneiden. Wohl ist die ursprüngliche Form zerstört; aber die beiden Teile sind nichtsdestoweniger immer noch Papier. (Daß die Zerkleinerung ein rein physikalischer Vorgang ist, dürfte nach dem Vorausgegangenen leicht einzusehen sein.) Die Teilung läßt sich

noch fortsetzten. Schließlich wird man aber an eine Grenze kommen, wo selbst die allerbeste Schere nicht mehr imstande ist, eine weitere Zerkleinerung vorzunehmen. Das Stück Papier ist so klein geworden, daß man es kaum noch sehen kann, — es ist aber immer noch Papier derselben früheren Art geblieben.

Bringen wir dieses kleine, unscheinbare Stückchen nunmehr unter ein Mikroskop, so sehen wir zu unserem Erstaunen, daß das winzige Papierstückchen eine beträchtliche Ausdehnung besitzt, ja, daß es sich mit geeigneten Hilfsmitteln noch sehr viel weiter zerkleinern läßt. Schließlich wird aber auch hier eine Grenze kommen, unterhalb derer sich das Papier nicht weiter zerteilen läßt. Haben wir damit nun das kleinste Stückchen dieser Papierart erhalten? Keineswegs!

Wir können uns sehr wohl vorstellen, daß spätere Zeiten noch sehr viel bessere, genauere und feinere Mikroskope verfertigen, unter denen das von uns unter dem jetzigen Apparat erhaltene Teilchen wiederum eine beträchtliche Ausdehnung hätte und sich *noch* weiter zerteilen ließe, wir also noch lange nicht die kleinsten Papierteilchen unter den Händen hätten.

Auf einen derartigen Apparat brauchen wir aber nun nicht zu warten. Die physikalische Teilung, die wir bisher experimentell vorgenommen haben, können wir auch *jetzt* schon noch weiter fortsetzen — allerdings nur im Geiste. Hier können wir so fein arbeiten, daß wir zu immer kleineren und kleineren Teilchen kommen, die aber immer noch aus der gleichen Papierart bestehen.

Schließlich und endlich wird aber auch hier eine letzte Grenze gezogen sein: Jetzt läßt sich das allerletzte kleinste Stückchen nicht auf dem gleichen Wege der physikalischen Teilung weiter zerlegen. Wir sind in unserem Vorstellungsvermögen bis zu dem allerkleinsten Teilchen gelangt, das noch die Eigenschaften des früheren Ausgangsstoffes besitzt. Ein derartiges kleinstes Teilchen nennen wir Molekül (v. lat. molecula = kleine Masse, Verkleinerungsform von moles = Last, Masse).

Ein Molekül ist demnach der kleinste Teil eines Stoffes und stimmt mit diesem in allen seinen Eigenschaften überein.

Gesehen hat ein solches Molekül noch niemand; dazu ist es viel zu klein. Selbst die kleinsten sichtbaren Teilchen bestehen noch aus Millionen von Molekülen. Vermutlich errege ich mit diesen Sätzen den Widerspruch so manches Belesenen, der schon einmal vom Ultramikroskop (1903 von Siedentopf und Zsigmondy konstruiert) gehört hat, unter dem die Moleküle doch angeblich zu

sehen sein sollen. Es muß aber bei der ersten Behauptung bleiben, nur vielleicht mit einer kleinen Abänderung, wenn jetzt gesagt wird: Man kann Moleküle zwar nicht sehen; aber mit dem Ultramikroskop sind sie zuweilen sichtbar zu machen.

Vielleicht ruft dieser etwas merkwürdige Satz ein bedenkliches Kopfschütteln hervor? Nun, dann möge eine kleine, alltägliche Geschichte diese stark gewunden klingende Behauptung erläutern.

Ich sitze — es ist der Morgen des zweiten Weihnachtstages — an meinem Schreibtisch. Es blitzt und blinkt in der Stube; kein Stäubchen ist auf den Möbeln zu sehen. Aus dem Nebenzimmer dringt der vertraute, immer wieder berückende Tannenbaumduft, der sich mit der frischen Winterluft des gelüfteten Raumes zu einem bezaubernden Geruchserlebnis vermischt. Draußen auf der Straße liegt der klare Schein der Wintersonne, was in einer Stadt wie Hamburg nicht gerade zu den Selbstverständlichkeiten gehört und deshalb unbedingt erwähnt werden muß. Gleich wird der Strahl des wandernden Gestirns in mein Zimmer fallen —. Da ist er schon, der erste schmale, silbrige Pfeil. Aber wo ist seine Reinheit und Klarheit geblieben? Weißlich trübe sieht er aus, und in ihm tanzen und flimmern größere und kleinere Teile. Die größeren kann man sogar wahrnehmen; die vielen, vielen kleineren jedoch sieht man wohl sich bewegen und ihren weißlichen Schein mit sich führen, Gestalt, Farbe und Größe sind indessen nicht auszumachen. Die reine, duftende Weihnachtsluft des Zimmers war also eine Täuschung!

Der Sonnenstrahl trifft auf seinem Wege durch das Zimmer auf unzählige, winzige Staubteilchen, die ihn von seiner Bahn ablenken. Das Licht wird in alle möglichen Richtungen zerstreut, was für das menschliche Auge die Farbe „weiß" bedeutet. Und so sehen wir als Endeffekt zahllose weiße Lichtpünktchen, denen unser Auge jedoch keine festen Umrisse zu geben vermag.

Der Naturforscher nutzt diese Alltagserscheinung nun genial bei der Konstruktion seines Ultramikroskopes aus.

Durchleuchtet man reines Wasser unter einem gewöhnlichen, aber starkem Mikroskop nicht von unten, sondern von der Seite mit einem Lichtstrahl, so sieht man ihn klar hindurchgehen. Mischt man jedoch einen Stoff mit möglichst großer Molekülart hinein, so bemerkt man, wie unter dem Apparat Lichtpünktchen aufblitzen, die zitternde Bewegungen vollführen. Es sind die Moleküle, die, ähnlich den Staubteilchen der Luft, das Licht aus seiner geradlinigen Bahn ablenken. Und dabei treffen vereinzelte Strahlen unser Auge. Wir können somit das Vorhandensein von Molekülen beobachten; wir können sogar — und das kann außerordentlich wertvoll sein — die Art und Schnelligkeit ihrer Bewegung feststellen und sie selbst zählen. Wir haben sie also sichtbar gemacht, ohne sie direkt zu sehen. Ja, wir können sogar mit ziemlicher Sicherheit behaupten, daß das Mikroskop uns niemals diesen letzten Wunsch erfüllen wird, da die Natur des Lichtes es nicht gestattet.

Von all den Schwingungen und Strahlen, die unseren Erdraum erfüllen, sind nämlich nur die allerwenigsten dem menschlichen Auge als „Licht" erkennbar. Nur dieser Teil der vielfach gearteten Strahlen vermittelt unserem Gesichtssinn die Umwelteindrücke; in seinem Bereich können wir die Dinge nach Form und Farbe unterscheiden, vermögen wir sie zu „sehen".

Das Molekül ist nun kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes. Gelänge es, noch kleinere Wellen anzuwenden, so vermöchte zwar das Auge nicht die gewohnten und das Sehen kennzeichnenden Urteile abzulegen — es könnte das Molekül wiederum nicht sehen —, da aber diese Strahlen z. B. auf eine photographische Platte einwirken, so ließen sich aus den aufgezeichneten Bildern unsere Naturerkenntnisse noch ganz wesentlich erweitern.

Derartige Strahlen sind unter anderen die Röntgenstrahlen, mit deren Hilfe sich der innere Aufbau der Moleküle erforschen läßt, und die Elektronenstrahlen. Mit den letzteren lassen sich die optischen Methoden noch bedeutend verfeinern. Im Elektronenmikroskop können schon Teilchen photographiert werden, die nicht viel größer als Moleküle sind. Bei weiterer Vervollkommnung des Apparates kann sogar sehr wohl damit gerechnet werden, daß man das Abbild größeren Moleküle auf die photographische Platte bannen kann. Das wäre wiederum ein Schritt mit Siebenmeilenstiefeln in das Reich des Wunderbaren getan, — — ohne daß sich jedoch selbst mit diesem schönen Apparat der letzte Schleier hätte lüften lassen.

Zu Beginn dieses Abschnittes hatten wir uns die Aufgabe gestellt, einen festen Punkt zu finden, von dem aus wir uns in das große und unübersehbare Gebiet der Chemie vorwagen wollten. Ist uns das jetzt gelungen? Bietet der neugewonnene Begriff des Moleküls dazu die Handhabe?

Die Antwort darauf kann zunächst nur verneinend lauten! Denn was haben wir erreicht?

Mit großer Geschicklichkeit haben wir das, was groß war, in immer kleinere Stückchen geteilt, bis wir es fast nicht wiederfinden konnten. Und wenn früher von der riesengroßen Zahl von *Stoff-*

arten gesprochen worden ist, so haben wir jetzt genau dieselbe Anzahl von *Molekülarten* bekommen. Eine Vereinfachung fün die Anschauung ist, jedenfalls auf den ersten Blick, nicht zu sehen. Im Gegenteil: Das Ganze scheint nur noch komplizierter geworden zu sein.

Haben wir nun aber einmal die ganze Erscheinungswelt in winzige Stücke zerschlagen, so wollen wir diesen Weg zu Ende gehen und versuchen, auch die Moleküle noch weiter zu zerlegen.

Das scheint nun schon wieder ein neuer Widerspruch zu sein; denn wir haben doch gefunden, daß die Moleküle die *kleinsten* Teilchen eines Stoffes sind?! Das sind sie auch. Es sind wirklich die kleinsten, durch *physikalische* Teilung darstellbaren Stückchen eines Stoffes, *die noch mit dem ursprünglichen Stoff die gleichen Eigenschaften haben.* Den letzten Teil des Satzes dürfen wir keinesfalls für geringfügig ansehen.

Greifen wir uns einmal ein Molekül.

Das wird nicht einfach sein. Oder sagen wir richtiger: Das ist unmöglich. Aber wenn wir mehrere Moleküle nehmen, meinetwegen unzählige, und stellen Veränderungen an ihnen fest, so muß das auch die Änderung des Einzelmoleküls sein.

Greifen wir uns also viele — nun, sagen wir dieses Mal Zuckermoleküle, oder, was das gleiche, aber viel einfacher ist: Nehmen wir etwas Zucker.

Jeder weiß, daß er selbst den besten Zucker nicht auf heißer Herdplatte liegen lassen darf; denn dann wird sich bald aus ihm ein brauner, nicht gerade wohlriechender Rauch entwickeln, der sich sogar entzünden läßt, und der Zucker wird seine schöne weiße Farbe verlieren, um nach einiger Zeit in eine schwarze, bröckelige Masse überzugehen: Er ist verkohlt. Erhitzt man Zucker in einem mit dünner Öffnung versehenen Glasgefäß, so kann man die Brennbarkeit des entweichenden Gases sehr schön zeigen; gleichzeitig ist dann noch zu beobachten, daß sich an der Innenwand eine bräunliche Flüssigkeit niederschlägt.

Durch die Erwärmung ist eine tiefgreifende Veränderung vor sich gegangen. Wir haben es somit im Gegensatz zur früheren physikalischen Teilung mit einem *chemischen* Vorgang zu tun. Der Zucker, und damit das Zuckermolekül, ist in drei verschiedene Bestandteile zerlegt worden, nämlich in einen gasförmigen, einen flüssigen und einen festen. Es gelingt dem Chemiker, die beiden zuerst genannten Teile noch weiter zu zerlegen. Dem festen Bestandteil gegenüber versagt aber seine Kunst.

Einen solchen Stoff, bei dem eine weitere Zerlegung unmöglich

ist, nennt man ein Element (vom lat. elementum = Baustein) oder Grundstoff. *Ein Element ist* also *ein Stoff, der sich bisher nicht weiter zerlegen läßt.*

Um mir keinerlei Vorwürfe zuzuziehen, ist die Definition des Elementbegriffes sehr vorsichtig gefaßt worden, und so muß er auch für unsere weiteren Untersuchungen genügen. Es ist der schon klassisch gewordene Begriff des Elements.

Die einzelnen Moleküle sind also zusammengesetzt; sie bestehen aus einer Reihe noch kleinerer Teilchen elementarer Natur. Diese kleinsten Teilchen, aus denen sich ein Molekül aufbaut, nennt man *Atome.* (Das Wort stammt aus dem Griechischen und bedeutet unteilbar.)

(Auch die Atome sind im Widerspruch zu ihrem Namen — das soll hier wenigstens Erwähnung finden, ohne daß näher darauf eingegangen wird — noch zusammengesetzter Natur, da sie aus negativen und positiven Teilchen bestehen.

Wir kennen gegenwärtig 89 Elemente und damit natürlich ebenso viele Atomarten und können mit ziemlicher Sicherheit behaupten, daß uns lediglich die Kenntnis von drei Elementen fehlt. Gegenüber dem Reichtum der Erscheinungsformen erscheint diese Zahl sehr gering und es gehört zu den großartigsten Wundern der Natur, daß sie aus diesen wenigen Bausteinen oder Grundstoffen die ganze belebte und unbelebte Welt aufbaut. Um einen Begriff davon zu geben, wie mannigfach sich die Atome zu den verschiedensten Molekülarten zusammenzuschließen vermögen, mag erwähnt werden, daß mehr als eine Viertelmillion Molekülarten bekannt sind, in denen nur die vier Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff (der Chemiker schreibt diese in seiner abkürzenden Geheimsprache C O H N, was — jedenfalls in dieser Reihenfolge der Buchstaben — nicht so besonders schwer zu behalten ist) vorkommen. Und diese Zahl bedeutet nur einen sehr geringen Bruchteil der wirklich möglichen Kombinationen.

Die Rolle, die die Elemente, zu denen außer den erwähnten noch so bekannte wie Schwefel, Phosphor, Chlor und sämtliche Metalle gehören, spielen, ist recht unterschiedlich. Untersucht man die bisher bekannte Erdschicht mit Einschluß der Meere und der Atmosphäre auf die Häufigkeit der Grundstoffe — allerdings kennen wir dann nur einen geringen Teil unseres Planeten; vergleichsweise ebensoviel, als wenn man vom Apfel nur die Schale untersucht hat, — so findet man, daß sie etwa zur Hälfte aus Sauerstoff besteht. Erstaunen wird vielleicht die weitere Mitteilung erregen, daß das dem Laien fast unbekannte Silicium das zweithäufigste Element ist,

das zu 25 % am Erdaufbau — vornehmlich in Gesteinen wie Granit, Quarz, Sand an Sauerstoff gebunden — beteiligt ist. Aluminium findet sich als dritthäufigster Grundstoff in rund 7, das Eisen in rund 5 % vor. Wußten Sie, daß Calcium mit ungefähr 3 % zu den wichtigsten Baustoffen der Erde gehört oder Titan (!) rund 15 mal so viel auf der Erde vertreten ist wie Stickstoff, der doch in ungeheuren Mengen in der Luft vorhanden ist? Nein, Sie wußten es sicher nicht, und es ist Ihnen auch durchaus nicht übelzunehmen. Denn in den allermeisten Fällen betrachten wir die Stoffe ja unter ganz anderen Gesichtspunkten. Der Mensch ist das Maß aller Dinge, ruft uns schon der Sophist Protagoras einige tausend Jahre früher zu. Und der Mensch mit seinen Bedürfnissen ist es, um den auch die Wissenschaft kreist. So ist unser Interesse etwa für das Silicium nur recht gering, während andere Grundstoffe wie z. B. der Kohlenstoff, der sich in jedem Nahrungsmittel und in jedem Bekleidungsstück findet, aber relativ selten ist, mit seinen Verbindungen Mittelpunkt ausgedehnter Forschungen geworden ist.

Die meisten Grundstoffe sind in derart geringer Menge auf der Erde vertreten oder haben für den menschlichen Gebrauch so wenig Bedeutung, daß sie höchstens für Spezialisten ein Interesse haben. Vom Dysprosium, Erbium, Gadolinium oder Lutetium z. B. haben selbst die meisten Chemiker so dürftige Kenntnisse, daß wir uns nicht zu schämen brauchen, wenn wir diese Elemente überhaupt nicht kennen — und sie auch gar nicht kennen lernen wollen.

Wenn wir uns jetzt noch einmal umsehen, dürfte das Dickicht um uns sich etwas gelichtet haben. Nur wenige — 92 — Bausteine oder Atomarten sind es, aus denen die Natur ihr Wunderwerk geschaffen hat. Für den Menschen von besonderem Interesse sind davon höchstens die Hälfte. Wir dürfen also wohl mit Recht behaupten, daß wir den mühseligen Weg bis hierher nicht umsonst gegangen sind; denn eine stärkere Vereinfachung für die Naturbetrachtung ist wohl kaum denkbar.

Allerdings haben sich die Naturwissenschaften, und nicht alleine die Chemie, den Vorwurf zugezogen, daß sie über der Analyse (der Zerlegung) die Synthese (den Aufbau) vergessen hätten. Aber schon hier muß mit aller Schärfe betont werden, daß — abgesehen von jedem erkenntniskritischen Gewinn, der nicht gering anzuschlagen ist — die Erfolge der Naturwissenschaften, die fast sämtlich synthetischer Art sind, erst ermöglicht wurden durch die neue, atomistische Anschauungsweise. Ohne diese Hilfe wären wir auch heute noch auf die wenigen Zufallstreffer des Alchimisten angewiesen.

4.

Die Moleküle setzen sich aus Atomen zusammen.

Teilweise entstehen dabei sehr einfache Gebilde, wie etwa das Wassermolekül, das aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff besteht. H_2O schreibt der Chemiker abgekürzt dafür. Sehr häufig enthalten die Moleküle aber auch eine unmäßig große Zahl von Bausteinen. Allen ist aber gemeinsam, daß sie die in ihnen vorhandenen Atomarten nicht mehr nach außen sehen lassen. Der Wasserstoff im Wasser, sonst ein höchst explosives Gas, was die furchtbare Brandkatastrophe des Luftschiffes Hindenburg im Jahre 1937 wieder einmal bewies, brennt nicht mehr, und den zur Atmung nötigen Sauerstoff können weder wir noch die mit Kiemen ausgerüsteten Fische aus dem im Molekül des Wassers gebundenen Sauerstoff entnehmen. Dafür treten beim Zusammentritt, oder sprechen wir lieber chemisch als von einer Verbindung, ganz neue Eigenschaften auf, wie das Beispiel des Wassers wohl jedem deutlich macht.

Die bisher entwickelten Anschauungen über den inneren Bau der Materie sind verhältnismäßig noch jung. Erst etwa vom Jahre 1770 an, als der Franzose Lavoisier die Gewichtsverhältnisse bei chemischen Umsetzungen feststellte und damit grundlegende Gesetzmäßigkeiten fand, können wir von der Chemie als von einer *Wissenschaft* reden. Wohl hatten die Alchimisten vor ihm auch ein ganz bestimmtes Streben, dessen Erfüllung sie vornehmlich in der Aufgabe sahen, unedle Metalle in edle zu verwandeln. Das ganze neunzehnte Jahrhundert, welches auf den neugewonnenen Elementbegriff sehr stolz war, hat diese Anschauung verlacht. Erst heute wissen wir wieder, daß ein Körnchen Wahrheit in dieser Annahme steckt! Allerdings waren die Methoden, mit denen die Alchimisten dieses schwierige Problem in Angriff nahmen, nach unseren Begriffen zumindest ungewöhnlich, um nicht zu sagen lächerlich. Wenn der Hamburger Brand 1669 den weißen Phosphor fand, indem er seinen eingedampften Harn mit Sand in einer irdenen Retorte erhitzte, oder der den Mund etwas vollnehmende Böttcher zwar nicht das versprochene Gold lieferte, aber — so halb aus Versehen — das damals fast ebenso wertvolle asiatische Geheimnis des Porzellanbrennens enträtselte, so zeugt das zwar von guter Beobachtungsgabe, ist aber wohl kaum als Endergebnis systematischer Arbeit zu werten — vielmehr als einzelner, riesenhafter Glückstreffer. Immer mehr und mehr versuchte man, da die eigene Kraft zur Lösung der gestellten Aufgabe nicht ausreichte, überirdische

Kräfte zur Hilfe zu rufen. Diese versagten sich jedoch, wie auch sonst meistens, wenn man sich allzusehr auf sie verläßt. Schließlich verlor man sich völlig in geheimnisvollen Hokuspokus, der zwar nicht zu sichtbaren Erfolgen führte, aber doch ein herrlicher Mantel war, um gläubigen Zeitgenossen einen allwissenden und allmächtigen Beherrscher der Natur vorzuspielen. In seinen sichtbarsten Vertretern war der Chemiker schließlich auf Jahrmärkten anzutreffen, wo er zwischen Flaschen mit möglichst buntem Inhalt und mit hoher, tütenförmiger Mütze auf dem Kopf den Leuten für viel Geld geheimnisvolle Dinge von angeblich riesengroßer Wunderkraft, zumindest derjenigen einer erheblichen Lebensverlängerung, verkaufte. Es waren einfach Scharlatane, die auch die wenigen, ernsthaft nach Naturerkenntnissen Strebenden um ihren guten Ruf brachten. Sie wußten geschickt die Gläubigkeit und die geheimen Wünsche ihrer Käufer in Rechnung zu stellen, um ihre für sie selbst billigen Mixturen an den Mann zu bringen.

Es wird nach diesem Abstecher ins Land der Alchimisten wohl nicht wundernehmen, daß die chemische Forschung ganz anderer Grundlagen bedurfte, um den gewaltigen Bau aufzurichten, den wir heute vor uns sehen. Lavoisiers Name wurde schon erwähnt. Er gab den festen Boden unter den Füßen, als er mit der Waage bewies, daß die chemischen Umsetzungen an ganz bestimmte Gesetzmäßigkeiten gebunden sind. Er nahm damit der Chemie viel von ihrem früheren Zauberglanz, öffnete damit aber dem Blick ein neues Wunderland, in dem wir noch heute staunend wandern. Allerdings muß man nun nicht glauben, daß die Mitwelt, ja, auch nur die eigene Fachgenossenschaft ihm jubelnd und begeistert zustimmte, als er das noch heute die gesamte Chemie beherrschende *Gesetz von der Erhaltung der Materie* aussprach. Nichts geht jemals an Masse verloren, aber auch nichts wird gewonnen! bewies er auf Grund seiner systematischen Versuche. Auf diese Untersuchungen hin stellte der Engländer Dalton (1766—1844) in den Jahren 1802—1808 seine Atomlehre, von der wir einige wichtige Sätze kennengelernt haben, auf. Der praktisch wirksame Gehalt dieses wichtigsten chemischen Gesetzes hat der Chemie ihren steilen Aufstieg ermöglicht —, ob jedoch der philosophische Inhalt immer verstanden worden ist und verstanden wird, erscheint zum mindesten zweifelhaft.

Der Naturwissenschafter des neunzehnten Jahrhunderts hat sich häufig den Vorwurf des Atheisten und Gottesleugners machen lassen müssen. Es ist unmöglich, daß einigen minderen Vertretern die großen Erfolge dieses Zeitraumes etwas zu Kopfe gestiegen

sind, so daß sie meinten, mit Hilfe der gefundenen Gesetzmäßigkeiten einfach alles erklären zu können, ja, wohl selbst imstande seien, die Lenkung der Welt in die Hand zu nehmen. Die Ansicht des wirklich großen und einsichtigen Naturforschers ist das nie gewesen. Früher wurde schon erwähnt, daß die Kenntnis der Naturgesetze noch niemals die Frage nach ihrem „Warum" klärt. Das Gesetz von der Erhaltung der Materie mag noch einmal die Grenze für unseren Erkenntnisdrang verdeutlichen.

Wenn von der Materie des Weltalls niemals etwas verloren gegangen noch dazu gekommen ist, so bedeutet das, daß die Gesamtmasse von Anfang an dagewesen ist. Sie ist also von jeher gegeben! Verwandlung und Abänderung der Form sind wohl möglich; aber kein irgendwie geartetes Naturgesetz vermag zu erklären, woher diese Materie kommt. Hier muß auch der Naturwissenschafter, wenn er ehrlich ist und nicht zu alchimistischen Methoden seine Zuflucht nehmen will, die Waffen strecken. Er vermag sich nicht einmal *vorzustellen,* wo diese gewaltige Materie herkommt. Hier ist eine Schranke aufgerichtet, die für den menschlichen Verstand und das Vorstellungsvermögen unübersteigbar ist und für alle Zeiten bleiben wird. Die Erklärung dieses urgewaltigen Phänomens ist nicht Sache des Wissens mehr, sondern des Glaubens. Irgendwoher *muß* doch einmal die Materie gekommen sein. Das kann für den Wissenschafter ebenso wie für den unverbildeten Gläubigen nur durch einen Schöpfungsakt geschehen sein, dessen übernatürliche Kraft sich jeder naturwissenschaftlichen Erklärung entzieht. Der echte Naturwissenschafter *kann* also niemals ein Gottesleugner sein. Dieser frühere Vorwurf muß sich vielmehr in sein Gegenteil verkehren; denn das Gesetz von der Erhaltung der Materie enthält einen naturwissenschaftlichen Gottesbeweis in sich, der jedem religiösen, ethischen oder moralischen weit überlegen ist. Allerdings wird der Naturwissenschafter in den meisten Fällen — eben auf Grund seiner gewonnenen wissenschaftlichen Ansichten — nicht bereit und willens sein, etwas Positives über diese Schöpferkraft auszusagen — oder sich von anderen, wahrscheinlich auch nicht klügeren Menschen, sagen zu lassen.

5.

Die Materie kommt in drei verschiedenen Zuständen vor: Fest, flüssig und gasförmig. Beim festen Zustand herrscht zwischen den kleinsten Teilen eine derartig starke Anziehungskraft, daß eine Veränderung der äußeren Form durch Druck so gut wie unmöglich ist. Im flüssigen Zustand bewegen sich die Moleküle gleitend gegeneinander, so daß die äußere Form wechselnd ist; dem Zusammen-

pressen setzen Flüssigkeiten aber immer noch einen fast unüberwindlichen Widerstand entgegen. Erhitzt man einen festen Körper, so wird der starre Zusammenhalt der kleinen Teile geringer; sie fangen an, sich mit steigender Temperatur immer mehr zu bewegen, zu gleiten: Der feste Körper wird flüssig. Wird noch mehr Wärme zugeführt, so gerät die Flüssigkeit ins Sieden, d. h. aber, die Bewegung der Moleküle ist so groß geworden, daß ihre Fliehkraft die gegenseitige Anziehungskraft überwunden hat. Die Teilchen fliegen bei geöffnetem Gefäß in den Raum hinein fort; sie suchen ihn zu erfüllen, wenn seine Temperatur oberhalb des Siedepunktes liegt. Aus der Flüssigkeit ist ein Gas geworden. Berühmte und bekannte Gase bei gewöhnlicher Temperatur (ihre Siedepunkte liegen sehr tief) sind etwa die uns umgebende Luft. Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, das erstickende Kohlendioxyd und das giftige Kohlenmonoxyd.

Der Gaszustand der Materie ist eigentlich recht sonderbar, weil er ganz merkwürdige Gesetzmäßigkeiten offenbart. Er soll uns deshalb einige Minuten beschäftigen.

Ein Gas läßt sich zusammendrücken. Das wissen wir zumindest von der Fahrradpumpe her. Wir wollen es langsam tun, damit es sich nicht erwärmt. (Die Erwärmung interessiert uns nämlich im Augenblick nicht.) Messen wir den Druck, und *das* ist wichtig für uns, der aufzuwenden ist, um den Gasraum auf die *Hälfte* zu verringern, so müssen wir feststellen, daß dazu genau der *doppelte* Anfangsdruck nötig ist; beim Zusammendrücken auf $1/3$ des Ursprungsvolumens braucht man den dreifachen, auf $1/4$ den vierfachen, auf $1/7$ den siebenfachen, und auf $1/119$ — — — ? Nun auch *Sie* haben schon schwierigere Rechenaufgaben gelöst und werden wie jeder Wissenschafter aus den praktisch vorhergegangenen Versuchen folgern, daß dazu der Druck 119 mal so groß sein muß wie zuerst. Damit ist für den Gaszustand — wir wollen nicht vergessen, daß *alle* Gase dieses Verhalten zeigen — eine zuerst von dem Engländer Boyle im Jahre 1662 festgestellte Gesetzmäßigkeit entdeckt worden. (Der Franzose Mariotte fand, unabhängig von Boyle, das gleiche Gesetz 17 Jahre später noch einmal.) Ändert man außer dem Druck nichts anderes, so gibt die Größe des Drukkes multipliziert mit der Größe des dadurch verkleinerten Raumes immer das gleiche Resultat. In der wissenschaftlichen Fassung lautet das Gesetz: $p \times v = \text{konstant}$ (p = Druck $\times$ v = Volumen ist immer eine festbestimmte Größe).

Erwärmt man ein Gas, so dehnt es sich aus. Eine Neuigkeit werde ich auch *hiermit* dem Leser nicht mitteilen. Nimmt man

diesen Versuch mit einem beliebigen Gas, dieses Mal unter gleichbleibendem Druck vor, so beobachtet man, daß es sich bei jedem Temperaturgrad, um den es sich erwärmt, um genau den zweihundertdreiundsiebzigsten Teil oder $1/273$ seines ursprünglichen Volumens ausdehnt. Wohlgemerkt: *Jedes* Gas. Kühlt man das Gas ab, so wird selbstverständlich sein Volumen um $1/273$ geringer. Wenn wir nun beispielsweise bei 0° gerade einen Liter eines Gases haben — gewandte Rechner dürfen auch jeden beliebigen anderen Raum für diese Berechnung einsetzen — und kühlen um einen Grad ab, so hat das Gas noch einen Rauminhalt von $1 - 1/273$ l, bei 2° Abkühlung von $1 - 2/273$ l, bei — 17° $1 - 17/273$ l; bei einer Abkühlung von 273°, also bei — 273°, $1 - 273/273$ l. Das heißt aber, da ja $273/273 = 1$ und $1 - 1 = 0$ ist, daß das ursprüngliche Gas, wenn es nicht vorher etwa flüssig geworden ist, bei der Temperatur von — 273° — verschwunden ist. Wohlgemerkt: Jedes Gas. Vorstellen kann sich das zwar niemand; es ist jedoch die rechnerische Folge einer für große Temperaturbereiche festgestellten Gesetzmäßigkeit. Die Temperatur von — 273° muß aber dann der tiefst vorstellbare Temperaturgrad überhaupt sein, denn einen Gasraum, der bei weiterer Abkühlung kleiner als Nichts wird — die weitere Rechnung würde *negative*, also unvorstellbare Raumgrößen ergeben — ist nicht denkbar. Für den Physiker ist —273° der absolute Nullpunkt. Es fehlt selbstverständlich nicht an Bemühungen, diese tiefstmögliche Temperatur herzustellen. Die letzten Zehntelgrade — man ist schon bis unter — 272° gelangt — hat man aber bisher noch nicht geschafft.

Es gibt noch eine andere Möglichkeit, ein Gas zu erwärmen, als die oben gekennzeichnete. Vordem haben wir bei gleichbleibendem äußeren *Druck* Wärme zugeführt, d. h. das Gas hat sich ausdehnen, seinen Raum vergrößern können. Wir können das verhindern, wenn wir das Gas in ein geschlossenes Gefäß einsperren, etwa indem wir eine Flasche mit einem Korken verschließen. Wenn wir jetzt erwärmen, erwarten wir bestimmt, daß über kurz oder lang der Pfropfen davon fliegen wird, wenn nicht vorher die Flasche schon geplatzt ist. Wir wissen nämlich — und deshalb hat der Leser die Flasche in Gedanken sicher möglichst weit fort gehalten —, daß beim Erwärmen ein erheblicher Druck in einem derartigen Gefäß auftreten kann. Der Physiker hat ihn natürlich gemessen und gefunden, daß die Drucksteigerung bei jedem Grad Temperaturerhöhung bei *allen* Gasen — wieder die gleiche Zahl, nämlich $1/273$ des Anfangsdruckes, ergibt.

Das überaus gleichmäßige Verhalten sämtlicher Gase erregt,

wenn es auch erfreulicher Weise zur Vereinfachung der Anschauung beiträgt, den höchsten Verdacht des Naturwissenschafters! Er glaubt nämlich nicht, daß diese überraschenden Übereinstimmungen auf reinem Zufall beruhen; er wird vielmehr zu ergründen suchen, ob nicht *eine gemeinsame Ursache* dafür verantwortlich zu machen ist!

Avogadro fand 1811 auf Grund der von Gay-Lussac und Alexander von Humboldt im Jahre 1805 angestellten Versuche eine einleuchtende Erklärung.

Bringt man einen Liter Wasserstoff mit einem Liter des grünen Chlorgases von gleichem Druck und gleicher Temperatur zusammen, so setzen sie sich schon im Sonnenlicht mit großem Getöse zu einem neuen Stoff, wiederum einem Gase, das nach den Ausgangsstoffen Chlorwasserstoff heißt, um. (In Wasser gelöst gibt das die bekannte Salzsäure.) Nimmt man mehr als einen Liter Wasserstoff auf einen Liter Chlor, so bleibt die den Liter übersteigende Menge Wasserstoff übrig; nimmt man weniger als einen Liter, so bleibt die entsprechende Menge Chlor übrig. Zur vollständigen Umsetzung sind also gleich große Mengen nötig.

Was heißt das aber nun?

Wir erinnern uns, daß die kleinsten Teilchen einer Stoffart Moleküle heißen. Auch die kleinsten Teilchen von Wasserstoff und Chlor sind Moleküle. Die Umsetzung zwischen den beiden Gasen erlaubt nun, das Zahlenverhältnis ihrer Moleküle zu ermitteln. Nähern wir uns der Lösung kräftig bildlich auf einem kleinen Umweg.

Versetzen wir uns einmal in die Seele eines Tanzmeisters! Das erscheint zwar etwas merkwürdig — aber warum nicht? Der gewandte Künstler verfügt zum Unterricht über zwei gleichgroße Säle, in denen sich seine Tanzschüler, in der ersten Stunde getrennt nach Geschlechtern, versammeln. Leider ist dem guten Mann vor Beginn des neuen Kursus die Namensliste der Angemeldeten verloren gegangen! Ja, er weiß nicht einmal die genaue Anzahl der Teilnehmer. Entsetzlich! Denn nichts ist peinlicher, als wenn von den jungen Mädchen beim Auffordern ein paar sitzen bleiben. Sonst hat er in einem derartig bedrohlichen Falle zum Ausgleich einige Herren aus früheren Kursen dazu gebeten. Das einzig Erfreuliche ist, daß die Teilnehmerzahl dieses Mal besonders groß ist, aber sich damit auch jedem schnell begonnenen Zählversuch widersetzt. Das Unglück läßt sich nur noch um Minuten hinausschieben! Mit geschlossenen Augen bittet er schließlich die Herren darum aufzufordern und sich dann mit ihren Damen paarweise zunächst

auf dem langen Flur aufzustellen. Als er die Augen wieder öffnet, ist er angenehm überrascht, denn beide Säle sind leer! Er weiß damit zwar immer noch nicht, *wie*viele Herren und Damen Terpsichores Kunst von ihm erlernen wollen, aber eines weiß er nunmehr ganz bestimmt: Es sind *gleich*viel Tänzer und Tänzerinnen.

Avogadro (italienischer Physiker von 1776—1856) — in seiner vollen Rüstung heißt er Graf Amedo Avogadro di Quaregna e Ceretio — behauptet nun für seine Wasserstoff- und Chlormoleküle etwas Ähnliches. „Wenn", so sagt er, „bei der Umsetzung die beiden Litergefäße sich mit ihrem Gesamtinhalt an Molekülen, ohne daß ein Rest bleibt, beteiligen, so müssen in den beiden gleichgroßen Gefäßen eben *gleichviele Moleküle* vorhanden gewesen sein". Über die genaue Zahl selbst vermag er zwar nichts auszusagen, aber schon das *gleichviel* führt zu erstaunlichen Folgerungen.

Verdeutlichen wir uns die beiden verschiedenen Teilchenarten etwa einmal durch verschiedene Kugeln; die Wasserstoffmoleküle mögen durch weiße, vielleicht in der Art der Kindermarmeln, die Chlormoleküle durch stählerne kleine Kugeln versinnbildlicht werden. Wenn jetzt die beiden Litergefäße gewogen werden und das Gewicht des Gefäßes jedesmal abgezogen wird — das ist auch bei Gasen für den Physiker nicht allzu schwer —, so weiß man genau, wievielmal mehr die gesamten Stahlkugeln (Chlormoleküle) wiegen als die gesamten Kindermarmeln (Wasserstoffmoleküle). Da aber die Anzahl beider gleich groß ist, so muß auch jedes *einzelne* Chlormolekül (jede einzelne Stahlkugel) ebensoviel schwerer sein als *jedes* Wasserstoffmolekül (jede einzelne Marmel). Oder noch anders ausgedrückt: Ist ein Liter Chlor — unter sonst gleichen Bedingungen — fünfunddreißigmal so schwer wie ein Liter Wasserstoff, so muß unter der Annahme, daß in beiden Litern gleichviele kleinste Teilchen enthalten sind, auch das einzelne Chlormolekül fünfunddreißigmal so viel wiegen wie das Wasserstoffmolekül.

Grenzt das nicht ans Wunderbare? Noch niemals hat ein Mensch diese Moleküle gesehen, und doch kann man ihre Gewichte miteinander vergleichen. Daß das Wägen der einzelnen Molekül- und auch Atomarten gegeneinander erst die genaue Lenkung chemischer Umsetzungen ermöglicht, möge hier wenigstens erwähnt sein. Der in diesem Buche gewählten Darstellungsweise ist ein tieferes Eindringen in diese geheimnisvolle Kleinwelt — sollen wir sagen leider? — versagt. Einiges Erweiterndes wird immerhin später noch erzählt werden müssen.

Schuldig bin ich vielleicht hier schon meinen Lesern eine Erklä-

rung darüber, inwiefern das gleichmäßige Verhalten der Gase, das so auffällig war, mit dem Gesetz von Avogadro zusammenhängt.

Der Naturwissenschafter glaubt, daß eben die in jedem Liter (wenn man will, kann man natürlich auch andere, aber immer gleichgroße Räume miteinander vergleichen) enthaltene *gleiche* Anzahl von Molekülen verantwortlich ist für die uns bekannten Gesetzmäßigkeiten.

Wir haben uns die kleinen Gasteilchen in lebhafter Bewegung vorgestellt. Die Moleküle sind zwar an Masse sehr klein, müssen aber, wenn sie in ein Gefäß eingeschlossen werden, bei ihrer Bewegung gegen dessen Wände stoßen und damit einen Druck ausüben. Verringert man das Gasvolumen auf die Hälfte, so werden die Stöße natürlich doppelt so zahlreich werden und der Druck muß sich somit verdoppeln: Das Boyle-Mariottesche Gesetz findet so seine einfache Erklärung. Bei Erwärmung wird die Bewegung der Moleküle lebhafter. Zwingt man sie, in dem gleichen Raum zu bleiben, so stoßen sie häufiger als vordem auf die Wandungen: Der Druck wird größer. Ermöglichen wir es, daß ein loser Deckel das Gefäß verschließt, so wird er sich etwas heben; kühlen wir ab, so wird er sich, da er durch die geringere Bewegung der Teilchen nur seltener getroffen wird, senken. Auch Gay-Lussacs (französischer Physiker 1788—1850) Gesetzmäßigkeiten finden somit durch diese von dem Deutschen Clausius (1857) aufgestellte kinetische Gastheorie (kinetisch = bewegend, auf die Bewegung Bezug habend) ihre schöne und einleuchtende Aufklärung.

Das Ganze bleibt aber immerhin, und das muß wohl hier einmal herausgestellt werden, eine Theorie. Zwar eine ziemlich festgegründete, wie alles, was wir bisher vernommen haben, aber immerhin eine Theorie, die sich niemals zu vollkommener Gewißheit verdichten kann. Das geht schon aus der Art und Weise hervor, wie eine Theorie entsteht. Eine Theorie ist nämlich nichts weiter als ein dem Menschen einleuchtender Erklärungsversuch. Wenn in diesen Abschnitten nicht stets der geschichtliche Weg eingehalten wurde, so findet das seine Begründung in der für den Leser anschaulicheren Darstellungsart. Der Naturwissenschafter muß aber immer und immer wieder zuerst die Natur befragen, wenn er zur Klarheit kommen will. Erst die Beobachtung von unzählig vielen gleichartigen Fällen ermöglicht es ihm zu verallgemeinern: Eine Gesetzmäßigkeit zu finden. *Erst* kommt die Praxis, *dann* die Theorie. Selbstverständlich wird er jedoch niemals sämtliche vorkommenden Erscheinungen untersuchen können, und so ist bei dieser Arbeitsweise — der induktiven Methode —, die von den Einzelfällen

auf das für jeden Fall gemeinsame schließt, immerhin ein Irrtum möglich; und das um so eher, je weniger Fälle bei der Aufstellung einer Theorie herangezogen worden sind. Werden Vorgänge bekannt, die sich nicht mit einer aufgestellten Theorie in Einklang bringen lassen, so ist sie eben falsch. Es fällt zwar meistens sehr schwer, von einer bis dahin so einleuchtenden Erklärung zu lassen, aber sie hat dann ihren Sinn verloren.

Der umgekehrte Weg, die deduktive Methode, die vom gegebenen Allgemeingültigen zum Einzelfall führt, ist zwar der sichere und nie versagende, er läßt sich in den Naturwissenschaften aber leider nicht gehen. Es gibt nur eine Wissenschaft, die ihn kennt, die Mathematik, die aus ganz wenigen allgemeingültigen Sätzen ihr strenges und durch nichts zu erschütterndes Gebäude errichtet.

Zwar behaupten auch Philosophie und Theologie im Besitz allgemeingültiger Gegebenheiten zu sein, die sich dann natürlich deduzierend — und da gibt es bei richtiger Handhabung keinen Widerspruch — verwenden lassen; aber wir Naturwissenschafter, die wir für unsere Wissenschaft selbst ehrlicherweise die Möglichkeit von Irrtümern zugeben, müssen uns ganz energisch dagegen wehren, daß induktiv gefundene Gesetzmäßigkeiten — wir selbst gaben früher einen naturwissenschaftlichen Gottesbeweis — zur deduktiven Beweisführung mißbraucht werden.

Sehr merkwürdig und widerspruchsvoll erscheint es zunächst, wenn behauptet wird, daß eine Theorie wohl falsch sein kann, deswegen aber noch lange nicht nutzlos gewesen zu sein braucht. Die frühere Phlogistontheorie, die die Verbrennungserscheinungen durch Abgabe eines Wärmestoffes erklärte, ist sicher irrig und hat doch zu ganz annehmbaren Fortschritten geführt. Streng wissenschaftlich genommen, sind auch die Begriffe des Atoms und des Elements, wie sie hier entwickelt wurden, unrichtig. Das wissen wir ganz bestimmt. Aber da sich der praktische Chemiker immer noch an diese alten (!) klassischen Begriffe hält und damit arbeitet, wollen auch wir es tun. Und wir werden wohl kaum behaupten dürfen, daß trotz der wissenschaftlich nicht ganz einwandfreien Theorie die Arbeiten der Chemiker nutzlos gewesen seien.

Trotzdem dürfen wir aber dem Wissenschafter nicht unsere Hochachtung versagen. Es ist schon erzählt worden, wie von ihm bewiesen wurde, daß in gleichen Raumteilen verschiedener Gase bei gleichem Druck und bei gleicher Temperatur gleichviele Moleküle vorhanden sein müssen. Das war erstaunlich. Noch verwunderlicher ist, daß es gelungen ist, die Moleküle in einem Liter — — zu zählen, d. h. auf sehr komplizierte Art zu berechnen. Wie — ist

leider nicht so einfach zu beschreiben. Der Deutsche Loschmidt kam 1865 dabei zu einer Zahl von rund 3×10^{22} Molekülen im Liter, das ist ausgeschrieben eine 3 mit 22 daran hängenden Nullen. Es lohnt, sich diese Zahl zu verdeutlichen.

Stellen wir uns eine wunderschöne lange Autobahn vor, auf der ein Rennfahrer mit der absoluten Höchstgeschwindigkeit von 500 Kilometern in der Stunde dahinbraust. Das ist ein ganz annehmbares Tempo. Rechts und links bilden die Bauarbeiter — die Strecke wird eröffnet — Spalier. Sie müssen allerdings ein wenig eng stehen. Wenn auf jeden Millimeter der Strecke die ganze deutsche Bevölkerung, die wir zu rund 80 Millionen ansetzen wollen, sich zusammendrängen könnte (bitte, stellen Sie sich das noch einmal richtig vor: Auf *jeden Milli*meter, auf *beiden* Seiten, 80000000 Menschen), dann müßte dieser rasende Rennfahrer ohne Pause, ohne zu tanken, ohne die Reifen zu wechseln, ohne zu essen, zu trinken oder zu schlafen 50 Jahre lang ununterbrochen fahren. Dann wäre er bei 3×10^{22} Menschen-Molekülen vorbeigefahren!

Und mit diesem kleinen Knalleffekt möge der erste, einleitende Teil dieses Buches über Moleküle beschlossen werden.

2. Teil.
Kampf um Nahrung
1.

Europa ist stolz auf seine Kultur. Ohne sich Spenglers Theorie, die, angeblich nach natürlichen Gesetzmäßigkeiten, den Untergang des Abendlandes voraussagt, zu eigen zu machen, muß doch gesagt werden, daß hohe Kulturen, und mit ihnen ihre Träger, bei weitem untergangsgefährdeter sind als primitive. Die Gefahr liegt im Siedlungsboden und ist, im Gegensatz zu der Spenglerschen, zu bannen. Wir brauchen uns also keineswegs dem Pessimismus zu verschreiben, wenn wir uns bemühen, die Ursachen für die Gefährdung zu untersuchen, um auf ihre Abstellung zu sinnen. Selbstverständlich ist, wenn von der Gefahr des Bodens geredet wird, nicht etwa an plötzliche Naturkatastrophen, wie Erdbeben, große Überschwemmungen und anderes gedacht. Bei diesen elementaren Ereignissen vermag Menschenkraft nur wenig. Nein, es ist etwas anderes, *die Gefahr der nicht ausreichenden Ernährung aus dem eigenen Boden*, gemeint. Es ist eine der größten Taten des Nationalsozialismus für Deutschland gewesen, daß er den Bauernstand erneut zu Ehren gebracht hat, ja, ihm als allerersten geholfen hat, seine Lebensfähigkeit wiederzugewinnen. Das ist natürlich nicht geschehen, um dem Bauern als solchem zu nützen. Aber seine Gesundung ermöglicht

den übrigen erst das Leben. Das ist in den letzten Jahrzehnten gar zu oft vergessen worden und hat sich doch immer wieder so bitter gerächt. Man darf dabei nicht etwa nur an den Weltkrieg denken, der zum allergrößten Teil durch den Hunger der Heimat für uns verloren wurde. Nein, auch vorher schon vermochte der heimatliche Boden bei der stetig wachsenden Bevölkerung seine Neugeborenen nicht mehr zu ernähren. Früher, noch vor wenigen Jahrhunderten, als der Menschheit große und offene Räume zur Verfügung standen, zog man völkerweise einfach weiter, wenn der Boden im Ertrag nachließ. So kann heute in Europa jedoch diese Frage nicht mehr gelöst werden; die letzte große Möglichkeit, dem europäischen Hunger zu entfliehen, war die Auswanderung nach Nordamerika, die es zahlenmäßig sicher mit der Völkerwanderungszeit aufnehmen konnte. Aber selbst diese Räume haben durch den sinnlosen Raubbau ihre Nährkraft verloren, so daß die einst so vielgepriesene, Reichtum spendende Ackerkrume sich jetzt in Form von mächtigen Sandstürmen rächt. Ein Land wie Ägypten, dem jedes Jahr durch die Nilüberschwemmungen ein neuer, lebenskräftiger Ackerboden geschenkt wird, bleibt eben eine Ausnahme! Ein Acker, der schon lange unter dem Pflug steht, muß sehr sorgsam behandelt werden, wenn er jedes Jahr wieder Nahrung in genügender Menge für seine Bewohner liefern soll. Das weiß der Bauer seit jeher. Und man erzählt dem Städter nichts Neues, wenn gesagt wird, daß der Boden gedüngt werden muß, damit er seine Kraft behält. Alle im Bauernhaushalt abfallenden Stoffe, die letzten Endes dem Acker entstammen, sind ihm von jeher wieder zugeführt worden. Solange der Bauer sein Korn und sein Vieh selbst verzehrte, konnte er, da die dem Boden entzogenen Stoffe ja fast vollständig wieder zurückgegeben wurden, dem Acker seine Kraft erhalten. Als er aber anfing, seine Produkte zu verkaufen, entzog er seinem Boden für immer Stoffe, und dieser mußte somit entkräftet werden, wenn nichts geschah, um ihn wieder aufzufrischen. Da aber nun höherstehende Kulturen eine größere Bevölkerungsdichte zur Voraussetzung haben und außerdem die besonders gestellten Aufgaben viele Bewohner zum Zusammenschluß in größeren Gemeinschaften zwingen, wird die frühere Ernährungsbasis, falls es nicht gelingt, den Ertrag erheblich zu steigern, zu schmal. Vor dem Kriege hat man sich damit geholfen, daß man Industrieerzeugnisse gegen Nahrungsmittel verkauft hat. Die Gefahr für die Ernährung unseres Volkes ist damit nur gestiegen. Denn abgesehen davon, daß politische oder wirtschaftliche Gewalt diesen Austausch verhindern können, ließ sich nach dem Kriege, als der

erste Warenhunger vorüber war, diese Entwicklung nicht weiter fortführen, da die belieferten Länder sich mit eigenen, neu aufgebauten industriellen Betrieben in vielen Dingen unabhängig von den früheren Lieferanten machten. Die Rückwirkung für die europäischen Länder konnte nicht ausbleiben, und ohne auf die ganz merkwürdigen, jeden älteren Wirtschafter überraschenden Erscheinungen einzugehen, mag wenigstens auf die wohl jedem in Erinnerung gebliebene Widersinnigkeit hingewiesen werden, als die amerikanischen Farmer ihren Weizen verbrannten und die europäischen Industrieländer hungerten. Die Aufhebung der einstigen Arbeitsteilung hatte sich somit für beide Teile bitter gerächt. Und selbst jetzt besann man sich noch nicht auf die Kraft des Bodens und seinen Verwalter, den Bauern, der allein berufen war, die erste und schwerste körperliche Not zu beheben. Denn auch die höchstentwickelte Kultur muß sterben, wenn sein Träger, der Mensch, verhungert. Der Glaube, daß mit geliehenem Gelde, mit dem man die Nahrungsmittel der fremden Länder immerhin noch kaufen konnte, sich diese Gefahr abwenden ließe, trog in dem Augenblick, als die Geldgeber ihr Geld aus Gründen, die wir hier lieber nicht untersuchen wollen, zurückverlangten. Der Zustand, dem Deutschland ausgeliefert schien, verschlimmerte sich immer mehr, und es wird stets ein Wunder bleiben, daß nur wenige Jahre später niemand mehr von dieser Gefahr bedroht ist, ja, von dem früheren Zustand kaum noch gesprochen wird. Das ist zum ersten eine politische Tat, die nicht hoch genug zu bewundern ist, zum zweiten jedoch eine chemische. Beide aber deutsche!

Die Verarmung des Ackerbodens machte Deutschland schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts Sorgen, ohne daß man allerdings Wege sah, dieser Not zu begegnen. Die Lösung des Problems gelang einem deutschen Chemiker: Justus von Liebig.

Liebig — —, Liebig — —? denkt der Leser, den kenne ich doch! Natürlich! Wie sollte ich Liebigs Fleischextrakt nicht kennen!

Ja, *leider* kennt man ihn vom Fleischextrakt her, oder besser: Leider kennt man ihn meistens *nur* vom Fleischextrakt her, mit Liebigs blauem Namenszug, der auf der Etikette die Echtheit seines Rezeptes bestätigt. Man kennt ihn von diesem Extrakt her, wie etwa den genialen Engländer Davy nur durch seine Grubenlampe, oder Leibniz von den Keks, oder Kant von der nach ihm benannten, sicher sehr schönen Schokolade. Vielleicht haben Sie geglaubt, Liebig lebe noch und sei als Fabrikdirektor in Fray Bentos (Uruguay) oder in Montevideo, Argentinien, Texas oder in Australien angestellt? Nein, er ist schon lange tot, schon über 65 Jahre tot —

leider. Und wir Deutschen haben ihn, einen unserer Größten, so gut wie vergessen. Da müssen wir wenigstens dem Fleischextrakt dafür danken, daß er seinen Erfinder, obwohl nur ein winziger Gedanke in einem gewaltigen Werke, zu Lebzeiten reich gemacht und ihn nach dem Tode im Gedächtnis seiner „dankbaren" Landsleute erhalten hat.

Liebig ist ein Chemiker so recht nach dem Herzen der Jugend. Schon 1818 haben alle knallenden chemischen Produkte für den 1803 in Darmstadt geborenen Apothekerlehrling ein derartig reges Interesse, daß der geängstigte Lehrherr bei einem besonders gelungenen explosionsstarken Experiment die Trennung von seinem Gehilfen beschließt, zumal dieser sich entschlossen zeigt, dem bisher betriebenen salbenreibenden Gewerbe den Rücken zu kehren, um sich den höheren Regionen der reinen chemischen Kunst zuzuwenden. Wir finden ihn 1822 in Gay-Lussacs Privatlaboratorium wieder, dessen Türen ihm die Empfehlung der größten Autorität auf wissenschaftlichem Gebiet, Alexander von Humboldts, des deutschen Aristoteles', geöffnet hatte. Die Knallerei hatte sich nämlich wissenschaftlich verdichtet. Dieser noch nicht zwanzigjährige Jüngling hatte nicht nur aus Freude am Knall geknallt, nein, er hatte in systematischer, nicht ungefährlicher Arbeit die Zusammensetzung der Knallsäure aufgedeckt, und die Veröffentlichung darüber veranlaßte Humboldt, dem jungen Manne seine Förderung angedeihen zu lassen, was für die außerordentlich gute Menschenkenntnis des großen Gelehrten spricht. Durch weitere Arbeiten wurde der Name Liebig bald so bekannt, daß ihn im Jahre 1824 die Universität Gießen zum Professor auf den Lehrstuhl für Chemie berief. Damals war Liebig 21 Jahre alt!

Die gute, ruhige und gemütliche hessische Universitätsstadt hatte an dieser Berufung zunächst allerdings gar keine Freude; denn der junge Brausekopf verlangte zur Verwirklichung seiner Pläne viel, — vor allen Dingen natürlich Geld. Ein gütiges Schicksal hat es gewollt, daß sich bei Liebig zu allen seinen großen wissenschaftlichen Gaben auch meisterhaftes Lehrgeschick fand. Ich weiß nicht, ob aufgefallen ist, daß bisher fast nur ausländische Namen genannt wurden, wenn von Fortschritten in der Chemie gesprochen wurde. Mit Liebigs Auftreten wird das anders. Von diesem Zeitpunkt an arbeitet sich langsam der *deutsche* Chemiker in den Vordergrund, wird die Chemie fast eine *deutsche* Wissenschaft, nimmt die *deutsche* chemische Technik die erste und vielbewunderte, zuweilen auch stark beneidete Stellung in der Welt ein.

Liebig erkannte, daß man den werdenden Chemiker, sollte er

später selbständig arbeiten, vor allen Dingen seine eigenen praktischen Erfahrungen machen lassen mußte. Mit einfachem Vorführen von Versuchen im Vorlesungsraum war nichts gewonnen. *Selber* sollte der angehende Wissenschafter die Dinge in die Hand nehmen, in *eigenen* Versuchen mußte er die Umsetzungen beobachten, durch *seiner* Hände Betätigung sollte er sich genügendes praktisches Geschick erwerben. So schuf Liebig für seine Hörer das erste chemische Universitätslaboratorium, in dem der Nachwuchs praktisch arbeiten konnte. Wir dürfen diese ersten Räume nun aber nicht etwa mit heutigen chemischen Arbeitssälen vergleichen. Idealismus und Arbeitswille mußten vielfach über die primitiven Anfänge hinweghelfen, und erst als sich Liebigs Ruf trotz aller Hemmungen, die seine Berufsgenossen dem jungen Stürmer bereiteten, in der ganzen Welt verbreitete, ja, da er als berühmtester Chemiker und Lehrer überall anerkannt wurde, flossen auch die nötigen Geldmittel, so daß er das Laboratorium seinen Wünschen entsprechend ausstatten konnte. Die Ausbildung des jungen Chemikers folgt bis heute den Bahnen, die Liebig vorgezeichnet hat. Und wenn in unseren Tagen diese Berufsausbildung noch immer dem deutschen Chemiker ein erhebliches Übergewicht bewahrt hat, so ist das nicht zumindest ein Verdienst dieses wahrhaft großen Mannes, dessen Wirkung in die Ferne jedoch damit keineswegs beendet ist.

Der Berufschemiker weiß natürlich, daß Liebig eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Entdeckungen gemacht und viele hochwichtige Arbeiten veröffentlicht hat. Das braucht den Nichtfachmann nicht zu ängstigen, und das braucht er auch nicht zu wissen. Aber zumindest *das* sollte er doch wissen, daß die Liebigschen Arbeiten dafür gesorgt haben, daß wir nicht — verhungern.

Seit 1839 wandte sich sein Hauptinteresse dem Studium der Ernährung des Pflanzen- und Tierkörpers zu.

Man wußte natürlich schon lange, daß Menschen und Tiere Nahrung aufnehmen müssen, um leben zu können. Um das Wie?, das wissenschaftliche Wie? der Nahrung hatte man sich jedoch bis dahin wenig gekümmert. Liebigs Untersuchungen führten zu seltsamen Ergebnissen, die heute Allgemeingut des zivilisierten Menschen geworden — sein sollten.

2.

Dreierlei Arten von Nahrungsmitteln bedarf der Mensch zu seiner Ernährung: Kohlehydrate, Fette und Eiweiß. Keines davon vermag er längere Zeit zu entbehren. Unter Kohlehydraten versteht man wissenschaftlich solche Molekülarten, die neben dem Kohlenstoff

die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältnis enthalten, wie sie auch im Wasser gebunden sind, nämlich, wie schon früher erwähnt, zwei Atome Wasserstoff auf ein Atom Sauerstoff. Man sieht dieser Molekülart natürlich weder den Kohlenstoff noch das Wasser von außen an, auch kann man nicht etwa Kohlehydrate durch Übergießen von Ruß mit Wasser darstellen, vielmehr ist der innere Bau dieses Moleküls außerordentlich kompliziert. Die Stärke der Getreidearten sowie die Kartoffel sind für die Ernährung neben sämtlichen Zuckerarten die gewöhnliche Kohlehydratnahrung. — Die Fette enthalten ebenfalls nur die drei Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, jedoch in andersartiger Zusammensetzung. Welchen Wechsel vermag die Natur doch mit den gleichen Bausteinen zu schaffen! Daß man tierische und pflanzliche Fette unterscheidet und mit beiden Formen in Deutschland nicht allzu reich gesegnet ist, weiß heutzutage jedes Kind. — Das dritte, teuerste, weil seltenste Nahrungsmittel, ist das Eiweiß. Man darf dabei nicht ausschließlich an Hühnereiweiß denken, wenn man von Eiweißnahrung spricht; das ist nur einer der bekanntesten Vertreter dieser Nahrungsmittel, die alle neben den schon bekannten drei Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff noch das Element Stickstoff enthalten. Abgekürzt sind das die vier berühmten C O H N Elemente. Auch hier kennen wir tierisches Eiweiß, wie es sich im Muskelfleisch der Tiere, in besonders leicht verdaulicher Form in dem der Fische findet, und pflanzliches Eiweiß, wie es hauptsächlich in Hülsenfrüchten — dort, wie die Erfahrung lehrt, in zuweilen recht schwer verdaulichem Zustand — vorhanden ist. — Fette und Kohlehydrate können sich, da sie ja die gleichen Elemente enthalten, bis zu gewissem Grade in der Ernährung vertreten, wenn auch nicht auf die Dauer. Bei Eiweiß ist das, da in den beiden anderen Nahrungsmitteln ja kein Stickstoff enthalten ist, unmöglich.

Jedes Tier, und damit auch der Mensch, muß die Nahrung fertig vorgebildet finden. Es ist nicht imstande, ein einziges Molekül selber zu schaffen. Das vermag nur die Pflanze. Mensch und Tier können nur die von der Pflanze *auf*gebauten Stoffe *ab*bauen. Bei den Pflanzenfressern (die menschliche Form heißt Vegetarier) ist das ohne weiteres klar. Aber auch die Fleischfresser ernähren sich über die Pflanzenfresser ausschließlich aus der Botanik. Wohl vermag das Tier den einen oder anderen Stoff arteigen umzugestalten, — zu schaffen vermag es nicht ein einziges Teilchen.

Wie ernährt sich denn nun aber die Pflanze? Wie baut dieses arme Opfer tierischer Begierde die verschiedenen Stoffe auf?

Darüber sollen noch einige wenige Worte gesagt werden.

Nun, die Pflanze ernährt sich auf zweierlei Art. Einmal aus der Luft und zum anderen aus dem Boden. Die Luft enthält neben ihren beiden Hauptbestandteilen Stickstoff und Sauerstoff noch eine ganze Reihe anderer Gase. Nicht überall ist, wie in meiner Vaterstadt Hamburg, so viel Wasserdampf, der sich bei den ungeeignetsten Gelegenheiten zu Regen verdichtet, darin enthalten; aber überall auf dem Erdenrund findet sich etwa die gleiche Menge Kohlensäure darin. Das ist jenes farblose Gas, wie es beim Öffnen der Sprudelflasche entweicht. Es ist nicht giftig, denn wie könnte man sonst wohl Sprudel trinken. Größere Mengen wirken aber, da eben der Atmungssauerstoff fehlt, erstickend. Es ist nur wenig von diesem Gase in der Luft enthalten, nicht mehr als drei Liter auf zehntausend Liter Luft. Und davon ernährt sich die Pflanze! Aus diesen so lächerlich geringfügigen Mengen nimmt sie ausschließlich den Kohlenstoff, wie er in allen, aber auch in allen von der Pflanze gebildeten Stoffen — sei es Blüte oder Stamm, Frucht oder Wurzel, Farbe oder Honig, Stärke, Fett oder Eiweiß — vorhanden ist. Das Aufnahmeorgan für die Kohlensäure, sozusagen der Mund der Pflanze, ist das Blatt. *Wir* haben es bequem, *wir* stecken die von der Pflanze gebildete Nahrung hochprozentig in den Mund *Sie* muß aber auf ihre spärliche Nahrung in der Luft förmlich Jagd machen. Da sie sehr viel braucht, — man stelle sich nur einmal einen würdigen, älteren und wohlbelaubten Eichbaum vor — leider aber am Ort gefesselt ist, hat sie sich genial geholfen, indem sie unzählige Freßorgane ausgebildet hat. Sie breitet ihr Laubdach über einen großen Raum aus, um so viel wie möglich Kohlensäure zu erhalten.

Der Chemiker hat natürlich dieses Kohlensäuremolekül etwas näher unter die Lupe genommen. Seine Zusammensetzung ist sehr einfach. Immer ist ein Kohlenstoffatom gebunden an zwei Atome Sauerstoff. Es ist wirklich erstaunlich, daß die Pflanze aus diesem so simplen Molekül mit einfachsten Mitteln so komplizierte Bauten aufzuführen vermag. Wohl gelingt es auch uns hin und wieder, aus dem gleichen Stoff ein pflanzliches Produkt zu schaffen, leider jedoch nicht auf dieselbe einfache Art; der Aufwand, der dazu nötig ist, entspricht etwa dem Einschlagen eines Nagels mit einer Dampframme.

Von der Kohlensäure — — Übrigens ist der fanatische Chemiker stets erbost, wenn man von diesem Gas als von der „Kohlensäure" spricht. Wissenschaftlich genommen ist es auch wirklich gar keine Säure, da in dem Molekül der jede Säure kennzeichnende Wasserstoff fehlt. Richtiger bezeichnet man dieses Gas, seiner Zusammensetzung entsprechend, als Kohlendioxyd (Kohlenstoff mit zwei (di) Sauerstoffatomen). Also: Von der „Kohlensäure" verwertet die Pflanze zum Aufbau der von ihr gebildeten Stoffe nur den Kohlenstoff, den daran gebundenen Sauerstoff scheidet sie aus. Allerdings geht dieser Vorgang, der Assimilation heißt, nur im Sonnenlicht vor sich. Gleichzeitig *atmet* die Pflanze auch, wie jedes Lebewesen. Das geschieht immer, Tag und Nacht. Dabei werden die gebildeten Stoffe zum Teil verbrannt und in der Form von Kohlendioxyd wieder ausgeschieden oder, was das gleiche ist, ausgeatmet. Darin unterscheidet sich die Pflanze nicht von uns. Da sie tagsüber aber mehr frißt (assimiliert) als atmet, überwiegt die Sauerstoffabgabe die beim Atmen ausgeschiedene Kohlendioxydmenge. Sie gibt also zu dieser Zeit, im Licht, Sauerstoff ab. Weswegen wir gern die erfrischende Waldluft aufsuchen und preisen.

Man kann es dem Biologen nicht übelnehmen, wenn er mit der populären Redensart, daß die Pflanze Sauerstoff „ausatme" nicht einverstanden ist. Ausgeatmet wird immer nur Kohlensäure. Die durch die Assimilation verdeckte Atmung wird deutlich, wenn die Pflanze schläft. Da vermag sie, auch wir können das nicht, keine Nahrung aufzunehmen. Da atmet sie nur. Und scheidet Kohlensäure aus. Weswegen man Pflanzen ja auch bekanntlich *nachts* nicht im Schlafzimmer dulden soll, da sie den für uns zur Atmung nötigen Sauerstoff verzehren und dafür das schädliche Kohlendioxyd ausatmen.

Die erste Ernährungsart der Pflanze durch das Kohlendioxyd der Luft überlassen wir ihr auch heute noch ganz alleine. Man hat allerdings wohl einmal versucht, den Ertrag von Kartoffelfeldern dadurch zu steigern, daß man das überall reichlich abfallende Kohlendioxyd darauf gebracht hat. So ganz einfach ist das bei einem Gas, welches, selbst wenn es schwerer als Luft ist, doch vom Winde fortgetrieben werden kann, ntürlich nicht. Die gemeldeten Ertragssteigerungen scheinen demnach auch kaum die aufgewendeten Mittel gelohnt zu haben.

Der zweiten Ernährungsart der Pflanze, der aus dem Boden, hat sich, im Gegensatz zur ersten, der Mensch in weitgehendem Maße angenommen. Wir haben schon gehört, daß die Rückgabe aller in der Landwirtschaft auftretenden Abfallstoffe, die nach uralter landwirtschaftlicher Überlieferung dem Ackerboden in Form von Mist und Jauche als natürlicher Dünger wieder zugeführt wurden, nicht

genügte, um einem immer und immer wieder genutzten Boden seine Kraft zu erhalten.

Vor Liebig war noch niemand auf den Gedanken gekommen zu untersuchen, *welche* Stoffe dem Boden durch die Pflanze denn nun eigentlich entzogen wurden. Die genauere Untersuchung brachte überraschende Resultate. Es werden von der Pflanze eine ganze Reihe von Molekülarten durch die Wurzeln aufgenommen, und nicht eine einzige darf davon fehlen. Aber die Mengen, die sie von den einzelnen Stoffen braucht, sind recht verschieden. Verbindungen, die etwa die Elemente Magnesium, Eisen oder Schwefel enthalten, sind so reichlich vorhanden, daß die Pflanze niemals Hunger daran leiden wird. Vornehmlich drei Elemente sind es, an denen der Boden allmählich verarmt: Kalium, Stickstoff und Phosphor.

Wie Liebig das eigentlich herausbekommen hat möchten Sie wissen?

Nun, der Gedanke ist so einfach und genial, daß man sich wundern muß, warum diese Frage an die Natur denn nicht schon lange vorher gestellt worden ist. Aber das ist wohl das Wesen des Genies, daß es Gedanken ausspricht, die nachträglich so einfach erscheinen, daß sie von geringeren Geistern eigentlich *auch* hätten gefunden werden müssen.

Als Naturwissenschafter befragte Liebig die Pflanze selber. Jeder von uns weiß, daß von einem gewaltigen Berg trockenen Gezweigs und Unkrauts, eben Pflanzen, wie sie etwa der Schrebergärtner in seinem abgeernteten Gartengrundstück verbrennt, nicht alles spurlos als Gas oder Rauch verschwindet, sondern daß ein im Verhältnis zur ursprünglichen Menge allerdings geringfügiges Häufchen Asche zurückbleibt. Sie enthält fast die sämtlichen Moleküle, die die Pflanze dem Boden entzogen hat. Für den Chemiker ist es kein allzugroßes Kunststück, in diesem Rückstand die Molekülarten und sogar ihr Mengenverhältnis zueinander festzustellen. Wobei wiederum die überraschende Feststellung zu treffen ist, daß die Aschen der verschiedenen Pflanzen stets eine andere Zusammensetzung aufweisen. Woraus zu folgern ist, daß jede Pflanze ihren eigenen Geschmack besitzt. So sind uns heute z. B. Tabak und Zuckerrübe als besonders leidenschaftliche Kalifresser bekannt.

Wenn nun, sagte sich Liebig, die Pflanze dem Boden einige Stoffe in allzu starkem Maße entzieht, so ergibt sich aus der wissenschaftlich gewonnenen Erkenntnis die selbstverständliche Tatsache, daß man, wenn die mit dem Naturdung zurückgebrachten Stoffe nicht ausreichen, die zur Auffrischung nötigen Molekülmengen auf andere Weise hinzugeben muß!

Man muß eben zur *künstlichen* Düngung greifen.

Wobei bemerkt zu werden verdient, daß der Ausdruck „künstliche Düngung" falsch ist und hier nur — da er ein weitverbreiteter und festumrissener Begriff geworden ist — angewendet wird, um sich besser verständlich zu machen. „Künstlich" kann man aber eigentlich nicht ein Düngeverfahren nennen, das die *gleichen* Stoffe, die die Pflanze dem Boden entzieht, dem Acker wieder zurückgibt. Die Industrie spricht infolgedessen nicht von „Kunstdüngern", an denen so gar nichts „künstliches" ist, sondern von Handelsdüngern im Gegensatz zu den Wirtschaftsdüngern Mist und Jauche.

So natürlich uns heute Liebigs Gedanken, die durch zahlreiche Düngungsversuche schon damals sich als richtig erwiesen, auch erscheinen, so hat es doch lange gedauert, bis der konservativste und Neuem am meisten abgewandte Stand, der Bauer, zu der ihm von Liebig gereichten Hilfe griff. Ja, es soll heute sogar noch Unbelehrbare geben, die zu ihrem Besten nur mit Gewalt zu bringen sind.

Immerhin wurden Liebigs Arbeiten und seine Erfolge so bekannt und berühmt, daß sich sogar überseeische Farmer ratsuchend an ihn, den sich inzwischen die Universität München geholt hatte, wandten.

In den weiten Pampas Südamerikas fanden Viehzüchter ein ideales Gelände. Die gewaltigen Viehherden, die in Europa einen unermeßlichen Besitz darstellen würden, wurden dort aber bald zu einer Last, da diese herrlichen Tiere einfach nicht zu verkaufen waren. Das Angebot war zu groß. Der Mensch verstand wieder einmal nicht, mit einem Natursegen fertig zu werden. Selbst bis in die Pampa Südamerikas war aber Liebigs, eines Deutschen, Namen gedrungen. Liebig half Europa, Liebig mußte auch den südamerikanischen Viehzüchtern in ihrer Not helfen. Ja, ein berühmter Mann wird zuweilen vor merkwürdige Aufgaben gestellt.

Sein Rezept war köstlich. Er empfahl, aus all diesen prachtvollen Tieren, die sonst einfach nutzlos verkommen wären, — Fleischbrühe zu kochen, diese einzudicken und als Fleischextrakt zu verkaufen. Die Viehzüchter taten das, wurden oder blieben selbst auf *diese* Art reich — woran sie Liebig teilnehmen ließen — und sorgten dafür, daß wenigstens auf diese Weise Liebigs Name in Deutschland nicht ganz vergessen wurde.

Übrigens: Der *Nähr*wert dieses Extraktes ist, wie der jeder frisch bereiteten Fleischbrühe, außerordentlich gering. Aber wir kaufen und essen ja auch bei anderen Lebensmitteln nicht ausschließlich nach praktischen Gesichtspunkten, sondern geben sehr

häufig unserem Gaumenkitzel nach. Und das kann zuweilen günstig bei der Nahrungsaufnahme mitwirken. Allein der Gaumenkitzel verführt uns z. B. sehr häufig dazu, das teuerste Nahrungsmittel, Eiweiß, in größeren Mengen, als unbedingt nötig ist, zu uns zu nehmen. Der Überschuß, der nicht benutzt wird, um das Protoplasma in den neu wachsenden Zellen zu bilden, wird einfach, wie das bei Kohlehydraten und Fetten geschieht, verbrannt, um durch diesen Vorgang die Körperwärme zu erzeugen oder die verlangte körperliche Arbeit zu leisten. Dazu sind aber die beiden zuletzt angezogenen Stoffe, und von diesen wieder Fett, viel besser geeignet und vor allen Dingen viel billiger als Eiweiß. Aber der Mensch ist nicht einfach und immer einer Maschine gleichzusetzen, und so kann es geschehen, daß der Energievorrat, der in einem lustlos hineingestopften Mehlpampf rechnerisch steckt, durch den Körper kaum ausgenutzt wird, während einer lecker zubereiteten Eiweißkost alle Kalorien entzogen werden.

Kehren wir nach dieser kleinen Abschweifung zu Liebig zurück.

Auch diesem großen Forscher, der im Jahre 1845 geadelt wurde und auf den man alle Ehren häufte, die zu vergeben waren, unterliefen Fehler. Das macht ihn eigentlich nur noch sympathischer. Seine Fehlgriffe zeigen zugleich, daß die Vorgänge in der Natur sich nicht auf einen *einzigen* Nenner bringen lassen, daß vielmehr meistenteils eine ganze Reihe von Gesetzmäßigkeiten beteiligt sind.

Liebig glaubte, daß die Pflanze ihre Stickstoffnahrung, wie die Kohlensäure, ebenfalls aus der Luft nähme. Wir wissen heute um die Tragik der Pflanze, die in einem Meer von Stickstoff verhungern müßte, wie der Seemann auf dem Ozean trotz des ihn umgebenden Wassers verdursten würde, wenn er nicht Süßwasser mitnähme. Auch die Stickstoffnahrung entstammt, bis auf ganz geringe Ausnahmen, dem Boden.

Zum anderen ließen die ersten Erkenntnisse Liebig zu der Annahme kommen, daß jetzt selbst der kümmerlichste Boden, sofern ihm nur die genügenden Nährstoffe zugeführt würden, herrliche Früchte bringen müßte. Die Enttäuschung auf dem schleunigst erworbenen sandigen Acker ließ nicht auf sich warten. Er schluckte die Nährstoffe, — aber eine Ernte brachte er nicht. Damit die Pflanze in den Genuß der zugeführten Nahrung kommen kann, muß der Boden nämlich die im Regenwasser gelösten Stoffe eine Weile festhalten. Das tut Sand jedoch nicht. Durch ihn laufen die gelösten Salze einfach hindurch. Diese Aufgabe vermag nur der Humus zu lösen.

1873, am 13. Mai, starb Justus von Liebig. Die ganze Welt trauerte um ihn, der nicht nur einer der bedeutendsten Chemiker aller Zeiten, sondern auch einer der edelsten und reinsten Menschen gewesen ist.

3.

Liebig hatte durch seine genialen Arbeiten die Frage gelöst, was die Pflanze braucht, um zu gedeihen. Die immer mehr wachsende Erkenntnis, daß der Boden bei dauernder Nutzung die zur Ernährung nötigen Stoffe nicht mehr liefern könne, ließ jetzt nach Molekülarten suchen, die, künstlich zugeführt, dem Acker seine lebenspendende Kraft erhielten und wiedergäben. Die Richtung für die Suche war gegeben. Es mußten 1. Kaliumverbindungen, 2. Stickstoffverbindungen und 3. Phosphorsalze sein. Im allgemeinen wird man zuerst zusehen, ob die freundliche und hilfreiche Natur in ihrem Schoße diese Stoffe nicht für uns schon besitzt oder vorgebildet hat. Das *hat* sie sehr häufig! Leider ist sie aber mit der Verteilung ihrer Gaben recht ungleichmäßig vorgegangen.

Wenn man nach dem Fundort irgend eines natürlich vorkommenden Stoffes gefragt wird, so geht man meistens, selbst wenn man es nicht weiß, nicht fehl, wenn man antwortet: Amerika. Worunter größtenteils sogar nur die Vereinigten Staaten gemeint und auch verstanden werden. U.S.A. ist ungeheuer reich an Bodenschätzen, was für Europa nicht gerade behauptet werden kann. Um so erfreulicher ist es deshalb, daß gerade die Kalisalze von der oben angegebenen Regel eine seltene Ausnahme machen. Sie sind in Amerika nämlich kaum vorhanden, sondern gerade in dem armen Europa. Am erfreulichsten ist aber, daß hier wieder Deutschland mit diesen wichtigen Stoffen reich gesegnet ist und sogar — eine ganz seltene Ausnahme — davon nach Amerika ausführt. Wir sind sonst meistens nämlich nur das Entgegengesetzte gewöhnt.

Vor dem Weltkriege hatte Deutschland sogar das Weltmonopol für Kalidüngesalze. Durch den Verlust von Elsaß und Lothringen gingen die dort erbohrten Lager an Frankreich über, das damit ein wichtiger Konkurrent für uns wurde. Nach anfänglicher gegenseitiger verlustreicher Unterbietung beim Kampf um die Weltmärkte kam eine Verständigung zustande, die beide Partner befriedigte. Aber immer noch ist Deutschland mit rd. 60—70 % des Förderungsanteils der größte Produzent des Weltmarktes. Und dabei hat man diese Stoffe zunächst für unnütz gehalten und sie einfach fortgeworfen! Sie bereiteten nämlich nur Arbeit bei der bergmännischen Gewinnung von Kochsalz, auf das man es zunächst allein ab-

gesehen hatte. Ehe man aber an diese mächtigen Schichten, die Dicken von 500—1000 m aufwiesen, gelangen konnte, mußte man viele fremde Salze, die darüber lagerten — allerdings nicht von gleicher Mächtigkeit, — forträumen. Man schüttete diese „Abraumsalze" auf riesige Halden (es war nur ein Glück, daß man sie nicht beseitigen konnte), von wo sie nachher im Triumph wiedergeholt wurden, um als wichtige Düngemittel zu dienen. Heute ist, und das läßt sich sehr häufig in der Technik beobachten, das einst verachtete und lästige Nebenprodukt zum Hauptprodukt geworden; heute bohrt man fast ausschließlich auf Kali, das über zehnmal so viel gefördert wird wie das ursprünglich gesuchte Kochsalz.

Eine Frage wird dem Leser, wie ich vermute, sicher auf den Lippen liegen, und das ist die nach dem „Woher" dieser gewaltigen Lager. Man findet sie überall im Deutschen Reich! Bei Berchtesgaden und Reichenhall, in den nördlichen Ausläufern des Schwarzwaldes, in der norddeutschen Tiefebene zwischen Weser und Ems in einer Mächtigkeit von 1000 Metern und darüber, bei Segeberg in Holstein und südlich von Berlin, kurz fast überall. Das berühmteste, das Staßfurter Steinsalzlager, das sich vom Harz bis zur Elbe und von Magdeburg bis Bernburg erstreckt, wurde 1839 entdeckt und 1852—1857 erschlossen, wobei sich eine Mächtigkeit von 1200 Metern ergab. Mangel werden wir demnach wohl niemals weder an Kochsalz noch an Abraumsalzen, die außer den Kalisalzen auch noch andere wertvolle Stoffe, vor allem Bromsalze, enthalten, leiden.

Die Steinsalzlager sind Abdampfungsrückstände früherer gewaltiger Binnenmeere oder abgesperrter Meeresbuchten. Zwar ist kein Mensch dabei gewesen, der die Richtigkeit dieser Annahme bestätigen könnte, aber auch heute noch ist die Bildung solcher Salzlagerstätten zu beobachten. Das berühmteste Beispiel dafür ist das Tote Meer, in welches der Jordan fortgesetzt Süßwasser, das jedoch stets geringe Spuren von Salzen gelöst enthält, führt. Das abflußlose Meer, aus dem nur das Wasser verdunsten kann, ist immer reicher an Salzen geworden, so reich, daß das Wasser sie nicht mehr gelöst halten kann und sie ausscheidet.

Sehr wahrscheinlich ist die Bildung der deutschen Lager etwas anders vor sich gegangen; auch dafür haben wir heute noch Beispiele. Die Mächtigkeit der Lager macht es wenig wahrscheinlich, daß ein einmaliges Abdampfen des Meeres zu ihrer Bildung genügt hat. Vielmehr muß angenommen werden, daß in eine durch eine Barre abgeschlossene gewaltige Meeresbucht, wenn ein großer Teil des Lösungswassers verdampft war, Sturmfluten erneute Mengen

von Meerwasser über die Absperrung trieben. Ein derartig abgeschlossenes Becken finden wir heute noch im Mittelmeer. Hier verdunstet das Wasser unter der heißen Sonne schneller als im Atlantik. Infolgedessen strömt stets neues Wasser durch die Straße von Gibraltar hinein. Eine einfache Untersuchung zeigt, daß die Folge davon eine Anreicherung von Salzen ist: Der Atlantik enthält rund 3½ %, das Mittelmeer dagegen um 3¾ % Salze (was, nebenbei gesagt, 35—40 Gramm Salz in einem Liter bedeutet).

Nun bildet allerdings nicht jedes abgeschlossene Meer Salzlagerstätten. Dazu muß zu der eben gekennzeichneten Bedingung noch starke Sonneneinwirkung kommen. Und regnen darf es aus leicht verständlichen Gründen auch nicht viel. Sehr wahrscheinlich hat zur damaligen Zeit Deutschland ein sehr heißes Wüstenklima gehabt. Der Wüstensand, den der Wind hochwirbelte, hat dann die gebildeten Lager zugedeckt. Er schützte als undurchlässige Salztonschicht die leicht löslichen Salze vor Auflösung und Fortführung durch fließendes Wasser. So hat die ganze Natur dafür gesorgt, daß die Pflanze nicht aus Kalimangel zu verhungern braucht. Was auch dem Menschen weiter nicht unangenehm ist.

Vielleicht gibt es unter den Lesern Interessenten, die gerne wissen möchten, wieviele Jahre denn die Natur dazu gebraucht hat, um diese gewaltigen Salzmengen auszuscheiden. Ihnen sei verraten, daß, und das ist verhältnismäßig leicht nachzuweisen, vom erstmaligen Abscheiden des Salzes — also etwa des Zustandes, in dem sich heute das Tote Meer befindet, — bis zur Beendigung des Prozesses mindestens zehntausend Jahre verstrichen sein müssen. Höchstwahrscheinlich wird also niemand von uns es mehr erleben, daß das Mittelmeer als politischer Faktor wegen völliger Versalzung ausscheiden wird!

Für die Kaliernährung hat die Natur ungeheure Reserven bereitgestellt, die der Mensch ihr jetzt entnimmt. Bei der Stickstoffnahrung ist die gleiche Spenderin viel weniger freigebig gewesen. Wie wir uns erinnern, ist gebundener Stickstoff, also in Form von Salzen, unbedingt für die Eiweißbildung in der Pflanze vonnöten. Der freie, ungebundene Luftstickstoff kann diese Aufgabe nur ausnahmsweise erfüllen. Es muß aber immerhin erwähnt werden, daß winzige, an den Wurzeln von Schmetterlingsblütlern wie Erbsen, Bohnen und Lupinen lebende Bakterien (Knöllchenbakterien) imstande sind, den Luftstickstoff in gebundenen Stickstoff überzuführen. Der Landmann macht sich dieses Verhalten der Leguminosen in der Gründüngung zunutze, und auch wir werden uns nicht

mehr wundern, wenn das schön gelb blühende Lupinenfeld einfach umgepflügt wird.

Immerhin ist jedoch diese Methode ein Behelf, und auch alle anderen Gewinnungswege für gebundenen Stickstoff bedeuteten bei dem herrschenden Mangel keine ernsthafte Hilfe.

Da erinnerte man sich, angeregt durch Liebigs Arbeiten, an jenen trostlosen Landstrich im Norden Chiles, den man nur ungern betrat, — an die Wüste Atacama. Gemeinhin stellt man sich eine Wüste als weithin übersehbares, eintöniges Sandmeer, etwa als einen ins riesenhafte vergrößerten Badestrand, vor. Das stimmt schon für die berühmteste Wüste, die Sahara, allwo sich große Gebirge finden, nicht, noch viel weniger aber für die Atacamawüste. Die obersten Schichten sind durchtränkt mit Salzen und dadurch so steinhart geworden, daß man sie nur durch Sprengungen lösen kann. Und dieser losgebrochene Wüstensand enthält bis zu 80 % „Chilesalpeter", der wohl jedem als wertvolles Stickstoffdüngemittel bekannt ist. Hatte Deutschland ein Kalimonopol, so besaß Chile bis zur Jahrhundertwende ein Monopol für Stickstoffdünger; 90 % der Staatseinnahmen wurden durch den Ausfuhrzoll auf Chilesalpeter gedeckt. Es ließ sich damals gut leben in Chile, wenn die Ausbeutung dieser Fundstätte auch bald in den Händen von Engländern und Amerikanern lag. 1000 Kilometer war dieses Lager lang und bei 1½—2 Meter Mächtigkeit 15 Kilometer breit. Der Stickstoffmangel schien gebannt zu sein. Schien! Man kann nämlich die Gefräßigkeit von Tier und — Mensch nicht so leicht überschätzen. Schon zur Jahrhundertwende erhob die erst kürzlich gebannte Gefahr, da die südamerikanischen Lager bei dem gleichen Abbautempo nicht mehr lange vorhalten konnten, von neuem ihr hungerverzerrtes Antlitz. Menschengeist hat diese Gefahr für immer gebannt. Aber ehe davon, von den Mühen, Ängsten und Umwegen erzählt wird, möge noch die Frage nach der Entstehung dieser nordchilenischen Salpeterlager, die immerhin auch heute noch erhebliche Bedeutung besitzen, geklärt werden.

Das heißt: So sehr einfach ist die Klärung gar nicht. Die Wahrscheinlichkeit spricht dafür, daß an dieser meeresnahen Küste Stürme — die See kann hier furchtbar toben — gewaltige Mengen von abgestorbenen Lebewesen, vor allen Dingen Tang, auf den Strand geworfen hat, die dann beim Zurückfluten dort liegen geblieben sind. Auch an unseren Meeren, der Nord- sowohl wie der Ostsee, ist das in kleinerem Maße eine allbekannte Erscheinung. Stellt sich nach einem solchen Sturm schönes, ruhiges Sommerwetter ein, so wird der entsetzte Sommergast bald Gerüchen ausgesetzt sein, die den Aufenthalt am Strande zur Unmöglichkeit machen können. Die ans Land geworfenen Meeresbewohner verwesen, d. h. die in ihnen enthaltenen komplizierten chemischen Verbindungen zersetzen sich. Unter ihnen auch das Eiweiß der Zellen. Ein Regentag bereitet in unseren Breiten diesem unangenehmen Zustand meistens ein schnelles Ende. Die zersetzten Stoffe versickern und gelangen ins Meer zurück.

In Nordchile dauert der, nun sagen wir ruhig Gestank allerdings länger; er ist dafür auch noch kräftiger. Die heiße Sonne führt zu einer schnellen und vollkommenen Zersetzung. In Wüstengegenden regnet es nur selten. Das dort so kostbare Naturnaß sickert zwar mit den gelösten verwesten Stoffen ein wenig in den Sand hinein, kommt aber dabei nicht weit und scheidet beim Verdampfen die Salze schon in den oberen Schichten wieder aus. Vielleicht haben sich so in langen Zeiträumen die Salpeterlager der Atacamawüste, die im wesentlichen aus den stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukten des Pflanzeneiweißes bestehen, gebildet. Dafür spricht, daß in dem Rohstoff, der „caliche", stets Jodsalze enthalten sind, die auch noch heute aus Tang, der das Jod des Meereswassers aufspeichert, wie der Dorsch das in seiner Leber tut, gewonnen wird. Dagegen spricht, daß Nordchile eine Steilküste besitzt. Aber es wäre in der Erdgeschichte nicht das erste Mal, daß sich eine Küste gehoben hat. In unserem Falle ist das, da damit die caliche überraschenden Lösungsversuchen des Meeres entzogen wurde, ein großer Glücksfall gewesen.

Aber, wie gesagt, der menschliche Appetit ließ die alten Sorgen bald wieder aufleben. Neue Lager waren nicht gefunden worden, und inzwischen war auch der wertvolle Guano, der außer Stickstoffsalzen noch kostbare, weil gut lösliche Phosphorsalze enthielt, fast völlig verbraucht. Der Mensch ißt eben mehr, als selbst eine Unzahl fleißiger Vögel — liefern kann.

Liebig hielt, das wurde schon erwähnt, die Stickstoffdüngung für unnötig. Natürlich glaubte er nicht etwa, daß die Pflanze den *elementaren* Stickstoff für sich direkt verwerten könne. Das hieße denn doch seinen Ruhm zu arg schmälern. Aber genaue Luftanalysen zeigen, daß in ihr stets Stickstoff*verbindungen*, wenn auch nur in geringem Maße und wechselnder Menge vorkommen. Aber auch das Hauptnahrungsmittel der Pflanze, die Kohlensäure, ist ja nur in winzigen Mengen in der Atmosphäre enthalten, so daß Liebigs Anahme, daß die vom Boden aus der Luft aufgenommenen

Stickstoffverbindungen ausreichend seien, nicht gar so abwegig schien. Leider genügt diese Stickstoffnahrung aber bei weitem nicht.

Besonders reich an Stickstoffverbindungen ist die Luft nach Gewittern. Dann findet sich in ihr ein in dieser Verdünnung nicht unangenehm, eher frisch riechendes Gas, das aus einem Atom Stickstoff (N) und zwei Atomen Sauerstoff besteht und sich allem Anschein nach bei dem Naturereignis aus den beiden Hauptbestandteilen der Luft gebildet hat. NO_2 schreibt der Chemiker dieses Molekül. In konzentrierter Form ist das Gas dunkelbraun, giftig und riecht außerordentlich stechend. Da nicht anzunehmen ist, daß der Donner die beiden Elemente in Bindung zwingt, ist der Blitz als Urheber dieser Umsetzung anzusehen. Blitze können wir aber auch künstlich erzeugen! Läßt man in einer luftgefüllten Glaskugel starke elektrische Funken überspringen, so färbt sich der Inhalt durch gebildetes Stickstoffdioxyd bald braun. Hier schien sich also ein Weg aufzutun, der aus der Not hinausführte. Vor dem Kriege schien das auch die gegebene Methode zu sein, um den, ach, so trägen Stickstoff in Bindung überzuführen. Birkeland und Eyde, zwei norwegische Forscher, suchten 1905 den Erfolg nicht gerade mit kleinlichen Mitteln zu erzwingen. Sie erzeugten mit einer Spannung von 6000 Volt einen gewaltigen Flammenbogen, den sie mit Magneten zu einer großen Scheibe von mehr als zwei Metern Durchmesser auseinander zogen. In ihm herrscht eine Temperatur von etwa 3000 Grad! Diesem gewaltigen Angriff vermag selbst der Stickstoff nicht zu widerstehen: Er verbindet sich mit seinem langjährigen Partner Sauerstoff, um den er sich bisher nie gekümmert hatte, zu NO_2. Allerdings geht die mühsam hergestellte Verbindung, wenn sie *langsam* abgekühlt wird, wieder auseinander. Der gewaltige Luftstrom, der durch den elektrischen Ofen geblasen wird, muß also schnell abgekühlt werden, damit das gebildete Produkt aus den gefährlich hohen in tiefe, unschädliche Grade, bei denen es beständig ist, kommt. In Wasser gelöst gibt NO_2 dann die bekannte Salpetersäure, aus welcher der Chemiker leicht jedes gewünschte Stickstoffdüngesalz herstellen kann.

Leider hat dieses elegante Verfahren jedoch einen sehr großen Fehler: Es ist nicht wirtschaftlich genug und damit recht teuer. Allerhöchstens wird, trotz aller Verbesserungen, 2 %, meistens jedoch noch weniger, der Stromenergie ausgenutzt. Das können sich nur Länder erlauben, die billigen Strom erzeugen, also solche, in denen Wasserkräfte zur Erzeugung billiger elektrischer Energie zur Verfügung stehen. Und nur so ist es möglich, daß auch heute noch Norwegen, trotz der völlig geänderten Lage, Salpeter auf den

Markt bringt, der nach diesem Verfahren gewonnen wird. Vor dem Kriege hatte auch Deutschland — und das mag die Bedeutung, die man diesem Prozeß zubilligte, zeigen — in den nordischen Ländern Versuchsstationen eingerichtet, die mit leichten Abänderungen nach dem gleichen Verfahren arbeiteten.

In aller Stille war man in Deutschland jedoch schon kurz vor dem Kriege dazu übergegangen, andere, erfolgversprechende Wege für die Stickstoffverbindung zu suchen. Und das war unser Glück. Denn 1914 wurde die Anlieferung des Chilesalpeters von einem zum anderen Tage gesperrt. Und wenn auch im August noch sehr große Salpeterbestände in Deutschland lagerten, so war doch vorauszusehen, daß bei längerer Dauer des Krieges außer dem drohenden Hunger vor allen Dingen der — Munitionsmangel den Widerstand bald unmöglich machen würde. Es gibt nämlich so gut wie keinen Spreng- oder Treibstoff für Geschosse, der *nicht* an Sauerstoff gebundenen Stickstoff enthielte. Jede Explosion beruht darauf, daß hocherhitzte, in kurzem Zeitraum erzeugte Gase durch ihr gewaltiges Ausdehnungsbestreben zertrümmernd oder, bei geschickter Anwendung, auch nur stark schiebend wirken. Aus leicht einzusehenden Gründen müssen diese Gase erst an Ort und Stelle erzeugt werden. Die die Gase liefernde Substanz muß dabei möglichst klein gehalten werden. Am besten gelingt das, wenn man dazu einen festen, leicht verbrennbaren Stoff nimmt. Dann muß aber selbstverständlich dafür gesorgt werden, daß diesem auch der zur Verbrennung nötige Sauerstoff beigegeben wird. Und das geschieht eben durch die leicht zerfallenden, gleichfalls festen Stickstoff-Sauerstoffverbindungen. Es kann uns nur mit Bewunderung erfüllen, daß es den deutschen Wissenschaftern und Technikern gelang, in kürzester Zeit ein Verfahren auszubauen, das sich zu Beginn des Krieges noch im Versuchsstadium befand, während der ganzen Dauer des Krieges ein Durchhalten ermöglichte und uns heute völlig unabhängig gemacht hat von jeder auswärtigen Stickstoffquelle.

Das Verfahren der Ammoniaksynthese, nach dem die wohl jedem Deutschen wenigstens dem Namen nach bekannten Leunawerke bei Merseburg und die Oppauwerke am Rhein arbeiten, ist aus wissenschaftlichen Laboratoriumsversuchen erwachsen. Dort wurde zunächst die *„thermische Dissoziation des Ammoniaks"* ganz planvoll und systematisch studiert. Die Mehrzahl der Leser wird wohl kaum wissen, was der Chemiker unter Ammoniak, einer Verbindung aus einem Atom Stickstoff und drei Atomen Wasserstoff (NH_3 geschrieben), versteht. Wenn aber gesagt wird, daß es das-

jenige farblose Gas ist, welches aus der geöffneten Salmiakgeistflasche entweicht und schon das arme Gretchen durch seinen scharfen und stechenden Geruch vor einem Ohnmachtsanfall bewahrt hat (das Fläschchen, das Gretchen von der „Frau Nachbarin" erbat, enthielt Riechsalz und nicht etwa das stärkere männlichere Wiederbelebungsmittel Kognak), so dürfte damit dieser Stoff hinreichend gekennzeichnet sein. Dieser Salmiakgeist, oder sagen wir jetzt lieber Ammoniak, zerfällt bei hoher Temperatur in seine Bestandteile Stickstoff und Wasserstoff. Der Wissenschafter heißt das eben thermische Dissoziation. (Thermisch = durch Wärme, Dissoziation = Trennung vom Sozius = Gefährten). Bei dem Zerfall vergrößert sich das Volumen. Einfache Untersuchungen zeigen ebenso wie theoretische Überlegungen, daß zwei Liter Ammoniak bei völligem Zerfall genau einen Liter Stickstoff und drei Liter Wasserstoff, also insgesamt das doppelte Volumen des Ausgangsstoffes geben. Das ist für den Ablauf des Prozesses von Wichtigkeit.

Der Zerfall des Ammoniaks ist von der Temperatur abhängig. Die Laboratoriumsversuche ergaben z. B., daß bei gewöhnlichem Luftdruck das Gas bei 500° zu 99,6 % zerfallen ist, bei 700° sind noch 0,02 %, bei 1000° sogar nur noch 0,004 % NH_3 vorhanden, das übrige ist Stickstoff und Wasserstoff im Verhältnis 1 : 3. Da diese Verhältnisse bei den gemessenen Temperaturen stets wiederkehren, da, wie der Wissenschafter sich ausdrückt, die drei Stoffe sich für jeden Temperaturgrad in einemganz bestimmten Gleichgewicht befinden, ist es völlig gleichgültig, ob dieser Zustand dadurch erzielt wird, daß sich Ammoniak zu einem gewissen Prozentsatz in Stickstoff und Wasserstoff zersetzt, oder ob, ausgehend von reinem Stickstoff und Wasserstoff, sich aus diesen beiden Elementen der gleiche Prozentsatz Ammoniak *bildet*. Wenn also, um es noch einmal an einem praktischen Beispiel zu erläutern, nachgewiesen ist, daß Ammoniak bei 700° bis auf 0,02 % zersetzt ist, so muß sich umgekehrt, wenn Stickstoff und Wasserstoff in den dafür günstigsten Volumenverhältnissen 1 : 3 zusammengebracht werden, bei 700° die gleiche Menge von 0,02 % Ammoniak bilden.

Die theoretische Forderung für die vollständige Bindung des Stickstoffs an Wasserstoff lautet somit: Zusammenbringen der beiden Gase in dem mehrfach gekennzeichneten Raumverhältnis bei möglichst *tiefer* Temperatur, da sich ja das Gleichgewicht mit *steigender* Temperatur *zuungunsten* des Ammoniaks verschiebt. Bei 200° ist in der Tat schon die Menge des Ammoniaks gegenüber den winzigen Ausbeuten der höheren Grade auf 15,3 % gestiegen; bei tieferen Graden ist sie natürlich noch weit größer.

Trotzdem ist mit dieser wissenschaftlichen Erkenntnis für die Praxis nicht viel gewonnen; denn in der Kälte wird der Gleichgewichtszustand zwischen den drei Kontrahenten erst nach vielen, vielen Jahren erreicht. Bei gewöhnlicher Temperatur dauert es Millionen von Jahren, — weswegen die Hausfrau auch nicht zu befürchten braucht, daß sich der Salmiakgeist in seiner Flasche zersetzt. Bei Zimmertemperatur zerfällt weder das Ammoniak, noch bildet es sich aus seinen Komponenten. Die Umsetzungs- oder Reaktionsgeschwindigkeit ist, so sagt der Chemiker, bei diesen Graden praktisch gleich Null.

Will man die Einstellung des Gleichgewichts, die Reaktionsgeschwindigkeit, steigern, so muß die Temperatur erhöht werden. Das ist jedem Chemiker ein ganz bekannter Kunstgriff: Kommt eine Umsetzung nicht in Gang, so wird erst einmal erhitzt.

Leider ist das für unseren Prozeß von außerordentlichem Nachteil, da sich ja bei steigender Temperatur das Ammoniak zersetzt! Da noch dazu die Reaktionsgeschwindigkeit erst bei sehr hohen Temperaturen den geforderten Ansprüchen auf schnelles Einstellen des Gleichgewichts zu genügen vermag, dort aber die Menge des gebildeten Ammoniaks nur sehr gering ist, können diese Bedingungen nicht die Grundlage für einen technischen Prozeß abgeben. Früher hat man in der Tat auch diesen Weg als ungangbar wieder verlassen.

Den Theoretiker interessiert aber zunächst mehr das allgemeine Verhalten eines chemischen Prozesses als seine praktische Anwendung. Das ist keineswegs immer ein Nachteil! Was noch zu beweisen sein wird.

In unserem Falle, da versucht wird, aus den Elementen Stickstoff und Wasserstoff Ammoniak aufzubauen — zu synthetisieren (Synthese = Aufbau) —, darf nicht vergessen werden, daß damit (es wurde schon erwähnt) eine Raumverminderung verbunden ist. In der Natur, und nicht nur in der Chemie und Physik, herrscht nun eine sehr allgemeine Gesetzmäßigkeit, welche besagt, daß sich jeder Vorgang einem äußeren Zwang — sofern das möglich ist — zu entziehen versucht. Der sich an kalten Wintertagen aufplusternde Sperling weiß natürlich nicht, daß, mathematisch gesehen, ein gegebener Rauminhalt in Kugelform die kleinste Oberfläche besitzt; er hat nur die Erfahrung gemacht, daß er so der Kälte die geringste Angriffsmöglichkeit bietet, oder, was physikalisch gesehen richtig ist, den Wärmeverlust möglichst gering gestaltet. Er benutzt unbewußt das Gesetz des kleinsten Zwanges (d'Alembert).

Auch die unbelebte Natur gehorcht dem gleichen Gesetz. Stickstoff und Wasserstoff verringern bei der Vereinigung zu Ammoniak ihr Volumen auf die Hälfte. Die Ausbeute an Ammoniak muß sich also nach dem Gesetz des kleinsten Zwanges durch Druckanwendung vergrößern lassen, — verlangt wenigstens die Theorie, da ja durch Zusammenschluß der beiden Elementargase dem äußeren Zwange des Druckes durch Verkleinerung des Volumens ausgewichen werden kann.

Laboratoriumsversuche bestätigen diese Prognose glänzend; die beigegebene Tabelle zeigt das deutlich.

Prozente Ammoniak im Gleichgewicht bei 1 Gemengteil Stickstoff mit 3 Gemengteilen Wasserstoff.

Temperatur	% NH_3 1.) bei 1 Atmosphäre (gewöhnl. Luftdruck)	2.) bei 200 Atm.
200°	15,3	85,8
300°	2,2	63
500°	0,4	36
700°	0,02	4,1
1000°	0,004	0,87

Bei 500° ist danach die Ausbeute an Ammoniak um das 90fache, bei 700° um das 205fache gestiegen. Die rein theoretischen Forderungen für die größtmöglichste Ammoniakausbeute lauten also nunmehr: Möglichst tiefe Temperatur und möglichst hoher Druck. Da aber die Umsetzungsgeschwindigkeit umgekehrt eine hohe Temperatur verlangt und die Technik natürlich nicht beliebig hohe Drucke anwenden kann, muß für sie ein Ausgleich zwischen diesen sich widersprechenden Bedingungen gefunden werden. Für die Einstellung des Gleichgewichts kommen in einem technischen Prozeß, wenn er wirtschaftlich arbeiten soll, nur einige wenige Minuten in Frage. Es muß deshalb bei mindestens 600 Grad und 200 Atmosphären gearbeitet werden, um nennenswerte Mengen Ammoniak zu erhalten. Aber selbst bei diesen ungeheuerlichen Forderungen, — Forderungen, wie sie früher nicht im entferntesten an die Technik gestellt wurden und deshalb anfänglich als unmöglich abgelehnt wurden, — ist die Umsetzungsgeschwindigkeit noch viel zu gering.

Nun gibt es aber Gott sei Dank außer erhöhter Temperatur ein zweites Mittel, um die Reaktionsgeschwindigkeit zu steigern.

Wir wissen, daß der menschliche Körper, wenn er die aufgenommenen Nahrungsmittel richtig ausnutzen soll, minimale Mengen besonders gearteter Stoffe nötig hat. Es sind die vom Körper selber

gebildeten Hormone und die mit frischen Nahrungsmitteln, vor allem mit Gemüsen, aufgenommenen Vitamine. Beide sind keineswegs etwa selber Nahrungsmittel, was schon daraus hervorgeht, daß sie teilweise in derart geringfügigen Mengen gebildet oder aufgenommen werden, daß man sie nur durch ihre Wirkung, ohne ihrer selber habhaft zu werden, nachweisen oder erkennen kann. Ein Mangel aber führt zu schwersten Gesundheitsstörungen. Für fehlende Vitamine mag der früher den Schrecken der Nordpolfahrer bildende Skorbut, für mangelhafte Hormonbildung der Bauchspeicheldrüse die allbekannte Zuckerkrankheit als Beispiel dienen.

Ähnliche Stoffe gibt es nun auch in der unorganischen Chemie: Stoffe, die, ohne selbst in den Prozeß einzugreifen, ihn durch ihre bloße Anwesenheit zu beschleunigen oder auch wohl zu verzögern vermögen. Katalysatoren nennt man diese merkwürdigen Substanzen, über deren Wirkung man sich nur schlecht eine Vorstellung machen kann. Auch scheint jeder Prozeß seinen eigenen, besonders gearteten Katalysator zu benötigen, und da es bisher noch nicht gelungen ist, hierin eine bestimmte Gesetzmäßigkeit zu entdecken, so kann man sich vorstellen, wieviele Versuche nötig sind, um den geeignetesten Förderer zu finden. Hatte bisher der Theoretiker das Wort, so fühlt man sich hier wieder in die Zeiten des Alchimisten zurückversetzt, der auch von *jeder* Substanz das Gelingen — oder Mißlingen — seiner Versuche erwarten konnte. Wer wagt es da noch, die graue Theorie zu lästern?

Die bloße Anwesenheit einer winzigen Stoffmenge soll eine Umsetzung beschleunigen können? Der Chemiker vermag nicht recht daran zu glauben, daß der Katalysator etwa die gleiche Rolle spielen sollte wie der strenge Blick der Mutter und Hausfrau, der genügt, um das Kind zu veranlassen, die nicht so sehr beliebte Suppe auszulöffeln. Obwohl die Katalysatoren, genau wie die Menschen, gegen Gifte außerordentlich empfindlich sind, was eine sehr sorgfältige und kostspielige Reinigung der reagierenden Gase bedingt, können wir an ihnen sonst beim besten Willen keine anderen menschlichen Eigenschaften entdecken. Viele von ihnen zeigen, wie das berühmte Platin, die Merkwürdigkeit, auf der Oberfläche, die recht groß sein muß, — infolgedessen braucht man nur wenig — Gase zu verdichten. Vielleicht beruht darauf ihre Wirksamkeit. Denn eine Verdichtung bringt die Moleküle näher aneinander, und damit würde die Umsetzungsmöglichkeit steigen: Es wäre ungefähr die gleiche Wirkung wie bei einer Drucksteigerung erreicht. Wie gesagt: Es spricht einiges dafür, aber auch vieles dagegen. Jedoch der Mensch sucht ja immer nach einer Erklärung. Die er hier aber

noch nicht entdeckt hat. Forscher an die Front! Eine gefundene Gesetzmäßigkeit würde viel Zeit, Geld und Arbeit sparen.

Die genaue Zusammensetzung des Katalysators ist natürlich ein strenges Fabrikgeheimnis. Zur Ammoniakgewinnung erweist sich uranhaltiges Eisen als sehr geeignet. Mit einem derartigen Katalysator ist es erst möglich geworden, das Verfahren praktisch zu verwerten. Nach allen notwendigen Ausgleichen mußten die Mindestforderungen auf 200 Atmosphären und 600 Grad, selbst bei Mitwirkung eines geeigneten Katalysators, gestellt werden.

Nur zögernd, und das mit vollem Recht, ging man kurz vor dem Weltkrieg daran, die in Laboratoriumsversuchen ermittelten Bedingungen technisch zu verwerten. Weiß man denn überhaupt, was die gestellten Forderungen bedeuten?

Bei 600° ist gewöhnliches Fensterglas schon lange geschmolzen, ist die Herdplatte dunkelrot-glühend, greift Wasserstoff Eisen — und nur Eisen kommt für die Apparatur in Frage — an, ja, spaziert er als leichtester Stoff zwischen den Eisenmolekülen, die sich bei dieser Temperatur schon erheblich voneinander entfernt haben, einfach hindurch ins Freie. Was unmöglich die Absicht sein kann.

Und 200 Atmosphären! Was sind 200 Atmosphären? Das bedeutet, daß jeder Quadratzentimeter

□ ←— so groß ist er

des Apparates, in dem sich der Stickstoff mit dem Wasserstoff vereinigen soll, einen Druck von 200 Kilogramm aushalten muß. Wohlgemerkt: *jeder* Quadratzentimeter. Das sind vier Zentner! Das ist das Gewicht von vier großen Kohlensäcken auf einem Quadratzentimeter vereinigt. Wehe, wenn der Apparat nicht standhält!

Allerdings wird durch diesen Druck der ursprüngliche Rauminhalt auf 1/200 verringert: Das wissen wir schon vom Boyleschen Gesetz her. Das bietet für die Umsetzungsräume den Vorteil, daß ihre Ausmessung nicht allzu groß zu sein braucht und somit eine sorgfältige Durchkonstruktion erleichtert. Immerhin mag die Tatsache, daß aus einem Liter des Gases bei dem angewandten Druck ganze fünf Kubikzentimeter werden — das ist der Raum, den etwa 100—120 Tropfen Wasser einnehmen! — noch einmal die gigantischen Anforderungen verdeutlichen.

Unter dem Zwang des Krieges *wurde* die Aufgabe gelöst.

Der Chemiker kann dem deutschen Ingenieur seine Hochachtung nicht versagen, da es ihm gelang, in verhältnismäßig kurzer Zeit die nötigen Apparate zu schaffen.

Absichtlich ist dieses rein deutsche Verfahren sehr ausführlich behandelt worden. Einmal aus Stolz auf einen Erfolg, den andere mit uns seit Jahrzehnten erstrebten. Zum anderen, weil Forderungen, und seien sie zunächst auch noch so hoch, bei eiserner Energie meistens ihre Erfüllung finden. Zum weiteren, weil der vielgeschmähte Theoretiker für seine mühevolle Arbeit eine glänzende Rechtfertigung gefunden hat. Und zum letzten, weil sich hier zwischen Mensch und Molekül, nämlich dem Stickstoffmolekül, ein gewaltiger Kampf abgespielt hat, in dem der Mensch Sieger geblieben ist.

Ermöglicht wurde dieser Erfolg, der in anderen Hochdruckverfahren sehr bald glänzende Nachfolge fand, vor allen Dingen durch drei Männer, die das deutsche Volk zu seinen Größten zählen darf. Das technische Genie *Boschs*, die physikalischen Untersuchungen *Nernsts* über das Verhalten der Gase und die organisatorische Begabung *Duisbergs*, der es verstand, Wissenschaft und Technik auf ein gemeinsames großes Ziel auszurichten, waren und sind die Grundlagen für den Siegeszug, den die deutsche Chemie sich anschickt von neuem anzutreten.

Stickstoff ist träge, erstickt jede Flamme, verbindet sich nur außerordentlich schwer mit anderen Stoffen, heißt es in jedem Lehrbuch. Das stimmt, wenn das Stickstoff*molekül* damit gemeint ist. Auch die elementaren Gase kommen nämlich bei unseren Temperaturen niemals als Einzelatome vor, sondern als Moleküle, die aus zwei Atomen bestehen. Diese beiden Atome sind sehr fest, vor allem beim Stickstoff, aneinander gebunden. *Deswegen* setzt sich der Stickstoff mit anderen Stoffen nicht um. Gelingt es jedoch, diese Bindung zu sprengen; gelingt es, aus dem Molekül die Atome freizumachen, so ist der Stickstoff nicht wiederzuerkennen. Die Trägheit ist verschwunden; er setzt sich, teilweise sogar heftig, mit anderen Substanzen um. Diese Aufspaltung in Stickstoffatome gelingt nun bei hoher Temperatur. *Deshalb* bindet sich bei Gewitter der Stickstoff an Sauerstoff, neben dem er sonst in wohltemperierter, langjähriger Ehe, in der die leidenschaftliche Vereinigung nicht mehr gesucht wird, einherlebt. Nicht die Elektrizität ist es, auch beim Birkeland- und Eydeverfahren nicht, die die beiden Stoffe in Bindung zwingt, sondern ausschließlich die hohe Temperatur, die mit diesen elektrischen Erscheinungen verbunden ist.

Somit ist das ganze, gewaltige Bemühen der Technik ausschließlich darin zu sehen, das Stickstoffmolekül aufzuspalten. Ein winziger Gegner! Aber ein zäher, bei dem der Mensch alle seine

Kunst aufwenden und riesenhafte Kampfmittel heranziehen muß, um Sieger zu bleiben.

Aber er ist es geblieben! Vielleicht nicht gerade mit den feinsten Methoden. Nicht gerade mit jenen, mit denen die Natur einfach und elegant die ihr gestellten Aufgaben löst. Bei aller Bescheidenheit wollen wir aber doch stolz darauf sein, daß wir heute imstande sind, auf Chilesalpeter ganz zu verzichten, ja, daß wir, wenn wir es wollten, den Chilenen unseren künstlichen Salpeter billiger verkaufen könnten, als sie ihn aus ihrer Naturquelle zu gewinnen imstande sind. Das ist gewiß ein beachtlicher Erfolg menschlicher Forschung und menschlicher Kunst!

„Halt", höre ich da den einen oder anderen rufen, „nun werden wir denn doch zu überheblich. Der Chilesalpeter enthält immerhin Stoffe, z. B. das Jod, die das Kunstprodukt nicht enthält. Es ist doch auch bekannt, daß gerade durch die ausgiebige Benutzung des „Kunstdüngers" die Krankheiten in Deutschland eine erschrekkende Zunahme zeigen."

Ich bin zwar kein Arzt, möchte aber doch folgendes zu bedenken geben. Einmal enthält der Chilesalpeter neben dem angeblich nützlichen Jod — tatsächlich ist es in der für Pflanze und Mensch giftigen Jodatform vorhanden — noch andere Stoffe, die, weil sie schädlich sind, entfernt werden müssen. Damit wird aber auch das Jod aus dem Salpeter herausgezogen. Zum anderen reicht der Stalldung schon seit Jahrzehnten vor dem Kriege nicht mehr zur Düngung aus. Auch der Chilesalpeter war seinerzeit nur „Ersatz". Und endlich und letztlich: Früher soll angeblich die Düngung besser, weil für die Gesundheit zuträglicher, gewesen sein. Heute leben die Menschen aber zweifellos länger! Mit *dem* Tausch darf man schon zufrieden sein!

Die Hauptmenge des Ammoniaks kommt in Form von Ammoniumsulfat auf den Acker. Wie in diesem Stoff der früher fast ausschließlich aus dem Auslande bezogene Schwefel durch den deutschen Gips ersetzt worden ist, das zu erzählen, muß späteren Ausführungen überlassen bleiben, die dann auch noch von der Gewinnung der beiden Ausgangsprodukte Stickstoff und Wasserstoff zu sprechen haben werden.

Um das Bild abzurunden, muß jedoch an dieser Stelle gesagt werden, daß es vor der Ammoniaksynthese schon eine Gewinnungsquelle für dieses Gas gab, die auch heute noch eine große Rolle spielt, nämlich die Gasfabriken und Kokereien. In ihnen wird die Steinkohle, das Überbleibsel von früheren gewaltigen Pflanzen, durch Hitze weiter zersetzt. Steinkohle ist nämlich durchaus nicht

etwa dem Element Kohlenstoff gleich zu setzen, sondern bildet ein Gemenge verschiedenartigster Verbindungen. Es wäre ja auch sonst rätselhaft, wie man Leuchtgas daraus gewinnen könnte. Unter diesen, sich unter der Erdoberfläche immer weiter zersetzenden Stoffen, findet sich nun das früher das Leben tragende Protoplasma, chemisch gesehen, eine Eiweißsubstanz, die als solche Stickstoff in gebundener Form enthält. Bei den hohen Temperaturen in den Retorten der Gasanstalten zersetzt sich das Eiweiß völlig, und als Rest des riesengroßen Moleküls hinterbleibt Ammoniak, das entweicht und in Wasser aufgefangen wird. Mit Schwefelsäure vereinigt, liefert es das gleiche Ammoniumsulfat wie die Leunawerke. Da aber Ammoniak nur Nebenprodukt bei der Steinkohlenentgasung ist, das weniger als 1 % der Erzeugnisse ausmacht, kann man diesen Prozeß nicht beliebig zu seiner Gewinnung steigern. Dadurch, daß es gelungen ist, Wasserstoff an Stickstoff zu binden, sind alle früheren Verfahren und Versuche der Stickstoffbindung, weil sie meistenteils zu teuer sind, in den Hintergrund gedrängt worden. So auch das von zwei Deutschen ausgearbeitete, nach dem in Deutschland aber immerhin noch einige hunderttausend Tonnen gebundener Stickstoff hergestellt werden.

Gehe ich heute des Abends über Jahrmärkte, und ich tue es gerne, so fehlt mir in der Geruchsatmosphäre dieser Vergnügungsstätten etwas, das in meinen jüngeren Jahren erst dem Schmalz-Wurst-Honigkuchengeruch die letzte Rundung gab. Damals erzeugte jeder kleine Aussteller sein Licht selber, und zwar mit Azetylen, welches er dadurch gewann, daß er Wasser auf Kalziumkarbid (Karbid sagt man meistens abkürzend) träufeln ließ. Dieses Azetylen, das auch das Beleuchtungsgas der damaligen Fahrradlampen war, stank bestialisch (zu Ehren des Gases sei jedoch gesagt, daß das nur seine Verunreinigungen waren, die das Karbid gratis mitlieferte), gab aber eine helle, heiße Flamme. Azetylen ist jetzt als Beleuchtungsgas fast ganz abgekommen, wird hingegen im Schneidebrenner, da es eine sehr große Hitze entwickelt, gern verwendet und hat heute als Ausgangsmaterial für viele wichtige chemische Stoffe wieder erhöhte Bedeutung gewonnen.

Im Augenblick soll uns jedoch mehr der Lieferant des Azetylens, das Kalziumkarbid, interessieren. Diese Verbindung von Kalzium und Kohlenstoff wird aus Kalk und Kohle, die beide in Deutschland reichlich vorhanden sind, im elektrischen Flammenbogen hergestellt. Kalziumkarbid bindet nun bei Rotglut Stickstoff und geht dabei in Kalkstickstoff über, der in der Ackererde durch Wasser gespalten wird, wobei Ammoniak auftritt, das durch saure Bodenbestandteile gebunden wird.

Durch überhitzten Wasserdampf läßt sich fabrikmäßig aus Kalkstickstoff Ammoniak gewinnen. Vor allen Dingen diesem Verfahren ist es zu verdanken, daß zu Beginn des Weltkrieges genügende Mengen von gebundenem Stickstoff für die Munitionsbereitung hergestellt werden konnten. Heute hat es, da es — genau wie das Birkeland- und Eydeverfahren — nur dort konkurrenzfähig ist, wo billige Elektrizität als Wärmeerzeuger zur Verfügung steht, erheblich an Bedeutung verloren.

Die Stickstoffrage, vor wenigen Jahrzehnten noch eine der brennendsten für die Menschheit, ist innerhalb kurzer Zeit gelöst. Wir dürfen stolz darauf sein, daß wir die natürlichen Kräfte unseren Bedürfnissen dienstbar gemacht haben, wenn das auch nicht gerade mit einem Minimum an Arbeitsaufwand, wie das die Natur selber tut, geschehen ist.

4.

Kali- und Stickstoffernährung der Pflanze sind heute für uns keine Probleme mehr. Wie steht es aber nun mit der Ernährung durch das dritte und letzte Element, ohne das ein Gedeihen unmöglich ist; wie steht es mit der Phosphornahrung?

Wenn wir, um nur ein Beispiel zu nennen, bedenken, daß unser Knochengerüst im Gewichte von 7—8 Kilogramm fast zu zwei Dritteln aus einer Phosphorverbindung, dem Trikalziumphosphat, besteht, und uns vergegenwärtigen, daß der Phosphor dieser Verbindung ausschließlich der Pflanze entstammt, die ihn ihrerseits wiederum dem Boden entzieht, so erhellt daraus die Wichtigkeit dieser Düngungsart.

Sieht man sich nach Düngesalzen um, die imstande sind, den jährlichen Verlust an Phosphorverbindungen zu ersetzen, so ist festzustellen, daß zwar kein Mangel an diesem Düngemittel besteht, Deutschland selbst aber leider nicht imstande ist, den Bedarf von sich aus zu decken.

In der Natur findet sich Phosphorit, eine der Knochensubstanz gleichende Verbindung, auch in Deutschland im Lahntal; die größten und ergiebigsten Lager sind jedoch im Ausland, vor allen Dingen in Frankreich und seinen nordafrikanischen Besitzungen, in Spanien und natürlich — das alte Rezept erweist sich wieder einmal als richtig — in Nordamerika vorhanden. Da die nicht sehr reichen Phosphatlager des Lahntals fast erschöpft sind, sind wir gezwungen, Phosphate einzuführen. Bei dieser Lage der Dinge ist es doppelt zu bedauern, daß die Fundstellen auf den früheren deutschen Südseeinseln (Nauru) uns durch das Versailler Diktat entrissen worden sind.

Der in der Natur vorkommende Phosphorit ist natürlich unlöslich, denn sonst hätte ihn der Regen ja schon längst aufgelöst. Für die Pflanzenernährung kommen jedoch nur Salze in Frage, die wasserlöslich, zumindest aber in den ganz schwachen Bodensäuren, die in ihrer Stärke etwa der Zitronensäure zu vergleichen sind, löslich sind, da sie sonst ja nicht durch die Wurzeln aufgenommen werden können. Der Mensch hat es verstanden, das unlösliche Molekül in ein ähnliches, lösliches zu verwandeln oder „aufzuschließen", wie der technische Ausdruck dafür heißt. Dieses Mal ist der Kampf schnell zugunsten des Menschen entschieden worden. Man befolgt dabei noch immer Liebigs Ratschlag, der empfahl, das unlösliche Phosphat mit Schwefelsäure zu behandeln. Das dabei entstehende Produkt ist das jedem Landmann bekannte Superphosphat, das in zahlreichen deutschen Fabriken hergestellt wird. (Übrigens: „Super"phosphat ist ein gräßlicher Name für dieses Düngesalz, da es durchaus kein „Über"phosphat, sondern lediglich — das sei Wißbegierigen verraten — ein saures Phosphat ist.)

Selbstverständlich werden auch die bei Schlachtungen oder etwa die bei der Fleischextraktbereitung abfallenden Knochen, welche ja ebenfalls aus dem gleichen unlöslichen Phosphat bestehen, als Phosphordüngemittel verwertet. Nachdem man ihnen die wertvollen Fett- und Leimstoffe entzogen hat (der feinste Leim, die Gelatine, wird z. B. aus den Knochen der Kalbsfüße gewonnen), können sie nach dem Zerkleinern als Knochenmehl, oder auch indem man sie vorher, ebenso wie den Phosphorit, mit Schwefelsäure aufschließt, auf den Acker als wertvolles Düngemittel gebracht werden.

Als letztes wichtiges Phosphordüngemittel ist das Thomasmehl zu nennen, das als Nebenprodukt bei der Eisenbereitung gewonnen wird. Die leichte Löslichkeit macht es zu einem hochwillkommenen Düngemittel namentlich für Wintergetreide und Wiesen. Die Geschichte seiner Herstellung ist von leisem Humor erfüllt und zeigt die in der chemischen Technik nicht ungewöhnliche Erscheinung, daß ein lästiges Nebenprodukt sich zu einem wertvollen Hauptprodukt entwickelt. Und wenn auch in diesem Falle die Tragik nicht so weit reicht, daß das Nebenprodukt das einstige Haupterzeugnis überflüssig oder gar zur Last macht, — selbst das ist nicht ungewöhnlich —, so ist doch die Geschichte lehrreich genug. Hier ist sie in aller Kürze:

Eisenerze kommen fast niemals chemisch rein in der Natur vor; in ihnen finden sich immer zahlreiche andere Verbindungen. Bei der weiteren Verarbeitung erweist sich nun, daß teilweise schon

ganz geringfügige Mengen die Eigenschaften des gewonnenen Eisens weitgehend, und nicht immer günstig, beeinflussen. So machen Phosphorbeimengungen das Eisen kaltbrüchig, so daß es schon bei gewöhnlicher Temperatur infolge von Erschütterungen leicht springt. Die frühere Eisenverarbeitung konnte, da der Phosphor sich nicht entfernen ließ, nur phosphorfreie Erze benutzen. Das war namentlich für England, das riesengroße Lager phosphorreichen Erzes besaß, aber auch für Deutschland nicht schön, da diese so gut wie wertlos war. Wie jedoch stets, gab es von dem unbrauchbaren viel mehr als von dem allein verwertbaren phosphorfreien Erz. Bis es durch die Erfindung von Sidney G. Thomas und Percy C. Gilchrist im Jahre 1878 gelang, den schon bekannten Bessemerprozeß, der als erster den gewaltigen Aufschwung der Eisenindustrie ermöglichte, auch für phosphorhaltiges Roheisen brauchbar zu machen. Der dem Verfahren zugrunde liegende Gedanke ist — wenigstens chemisch gesehen — sehr hübsch. Die Phosphorverbindungen sind bei der vorhergehenden Bearbeitung zu Phosphorsäure verbrannt. Diese wird gebunden und dabei zugleich dem Eisen entzogen. Man benutzt dazu Substanzen, die man als heftige Gegner der Säuren ansprechen kann. Auch in der Chemie gibt es nämlich Gegensätze. Nicht gerade solche, wie sie uns täglich als dick und dünn, groß und klein, faul und fleißig und andere schöne Dinge begegnen, aber immerhin hat „sauer" seinen starken Gegensatz in — ja, nun nicht in süß, sondern in basisch oder laugenhaft. Sauer und süß sind, auch im täglichen Leben, gar keine Gegensätze, die einander aufheben. Das zeigt sich schon beim süßsauren Essig oder in der Tatsache, daß der Säuregrad eines Weines sich niemals durch nachträgliches Süßen herabmindern läßt. Das erreicht man höchstens durch den Zusatz basischer Stoffe. Vielleicht empfiehlt sich dazu nicht gerade Seifenwasser, das die bekannteste basische oder laugenhafte Flüssigkeit des Alltags ist. Aber schon Soda, auch gerade kein unbekannter Stoff, würde sich ganz gut dazu eignen, — was hoffentlich kein Weinbauer als billiges und anwendbares Rezept ansehen wird.

Zur Befreiung des im Hochofen gewonnenen Roheisens von seinen lästigen Verunreinigungen wird es im flüssigen Zustand in riesenhafte, birnenförmige, kippbare Behälter gefüllt und dann mit gewaltigem Druck Luft hindurchgeblasen. Mauert („Ausfüttern" sagt der Chemiker) man nun den Behälter, dessen Außenhaut aus Eisen besteht, mit „basischem Gestein" aus, und als solches ist der Dolomit sehr geeignet, so vereinigt sich die Phosphorsäure des wildbrodelnden Inhalts — sie neutralisiert sich — mit dem basischen Futter, wobei sie aus dem Eisen herausgezogen wird und mit der Gesteinsauskleidung eine feste Masse bildet. Außerdem setzt man dem flüssigen Roheisen in der Birne noch gebrannten Kalk, ebenfalls einen basischen Stoff, zu. (Daß gelöschter, d. h. mit Wasser verrührter gebrannter Kalk eine stark ätzende, basische Wirkung hat, dürfte allgemein bekannt sein.) Dadurch bildet sich mit dem Phosphor eine leichtflüssige Schlacke, die, auf dem schwererem Eisen schwimmend, unschwer von ihm zu trennen ist. Diese sogenannte Thomasschlacke gibt zusammen mit dem zerkleinerten Futter, das natürlich mit der Zeit seine Wirksamkeit einbüßt und erneuert werden muß, das äußerst wertvolle Thomasmehl. Heute, und nun kommen wir zum Schluß dieser kleinen Geschichte, ist das mit Phosphor verunreinigte Eisen viel begehrter als das phosphorfreie, — eben durch die Gewinnung des Thomasphosphatmehls, das unsere Sorge um ausreichende Phosphordüngung bannt. Daß es als gut verkäufliches, wertvolles Nebenprodukt das Haupterzeugnis selbst, das Eisen, im Preise verbilligt, möge dazu am Rande bemerkt sein.

Deutschland wurde nach dem Weltkriege ein erzarmes Land. Das erhellt nichts deutlicher als die Tatsache, daß das durch Versailles entrissene Lothringen mit seinen phosphorreichen Minettegruben dreiviertel der deutschen Erzmenge förderte. Wie wir wissen, mußte mit dem Verlust dieser Gruben auch ein empfindlicher Rückgang in der Produktion der eigenen Phosphatdüngemittel eintreten. Man wollte eben dem besiegten Gegner auch für die Zukunft keine neue Aufstiegsmöglichkeit zubilligen! Frankreich hat wohl selbst nicht geglaubt, daß kaum 25 Jahre später das noch nicht einmal mit eigenen Kräften Entrissene zu seinem rechtmäßigen Besitzer zurückkehren würde.

3. Teil.

Der Chemiker zaubert ein wenig mit Kohle

1.

Der Chemiker ist — leider! — nicht der Hexenmeister, als den frühere Zeiten ihn sahen und als der er vielleicht auch heute noch häufig eingeschätzt wird; denn zum echten, wirklichen „Hexen" gehört doch wohl das Schaffen aus dem Nichts! Das kann nun aber der Chemiker ebenso wenig wie irgendein anderer Mensch. Seine Kunst besteht vielmehr darin, daß er die von Natur aus gegebenen Stoffe umwandelt, wobei allerdings diese Änderungen so überraschend und verblüffend sein können, daß sich jeder berufs-

mäßige Varieté-Illusionist dagegen wie der Goethesche Zauberlehrling ausnimmt.

Stets muß die Chemie für ihre Verwandlungskünste auf Stoffe zurückgreifen, die ihr die Natur bietet, und zu den allerwichtigsten und für den Menschen wertvollsten gehört die *Kohle.* Sie ist in unserer Wertschätzung immer mehr und mehr gestiegen. Während sie anfangs fast ausschließlich als Brennmaterial benutzt wurde, ist sie heute für uns einer der nützlichsten Rohstoffe geworden, aus dem sich ungezählte lebenswichtige Produkte gewinnen lassen. Denn, das muß hier besonders betont werden, Kohle — sei es nun Stein- oder Braunkohle — ist nicht etwa das Element Kohlenstoff, wie wir es beispielsweise vom Ruß her kennen, sondern eine außerordentlich komplizierte Anhäufung sehr verschiedenartiger Molekülarten, die allerdings alle das Element Kohlenstoff als einen ihrer Bausteine enthalten. Die Entstehungsart der verschiedenen Kohlen mag das verdeutlichen.

Wir hörten schon früher einmal, daß in unserem Vaterland nicht immer das jetzige Klima geherrscht hat. Die riesigen Salzlager, das wurde bereits erzählt, verdanken einem heißen, austrocknenden Wüstenklima ihre Entstehung. Es muß aber auch Zeiten und Gegenden gegeben haben, in denen die Sonne weite, sumpfige Strekken beschien. Dort herrschten ähnliche Verhältnisse, wie sie heutigentags noch etwa in den Mangrovensümpfen Südamerikas vorhanden sind. Schwere und dicke, von Wasserdampf gesättigte, treibhausschwüle Luft förderte ein üppiges Pflanzenwachstum. Zwar waren es nicht die gleichen Bäume, wie sie uns jetzt in unseren Wäldern begegnen. Aber Verwandte von ihnen existieren auch heute, 300 Millionen Jahre später, noch. Im Karbon, dem erdgeschichtlichen Zeitalter, in welchem die Steinkohle sich bildete, waren riesenhafte Farne und Schachtelhalme neben Schuppen- und Siegelbäumen, deren Abdrücke wir in den Flözen finden, die Hauptvertreter der Pflanzenwelt. Da sie im Sumpf wuchsen, in dessen Boden die absterbenden oder auch wohl von Stürmen gebrochenen Stämme einsanken, wurden sie vom Sauerstoff der Luft, dem großen Zerstörer, abgeschlossen. Sie erfuhren infolgedessen eine ganz andersartige Zersetzung, als sie heute ein im Walde gestürzter Baumriese erleidet. Dessen Teile vereinigen sich, wenn auch langsam, mit dem Luftsauerstoff. Er verwest. Und von ihm bleibt nach verhältnismäßig kurzer Zeit nichts mehr übrig. Der größte Teil geht als Gas, vornehmlich als Kohlensäure, in die umgebende Luft, und die nichtflüchtigen Salze wäscht der Regen in den Boden, wo sie wieder Nahrung für neues Leben bilden.

Was geschah aber dagegen den Bäumen des Karbons?

Nun, wir haben auch heute noch Gelegenheit, ähnlich geartete Vorgänge in der Natur zu beobachten.

Wohl jedem ist schon einmal aufgefallen, daß zur Hochsommerzeit aus trüben, stagnierenden Gewässern große Blasen aufsteigen. Das ist Sumpfgas. Es läßt sich — und immer wieder kann man damit großen Erfolg erzielen — entzünden, was man doch sonst mit „Luft" nicht kann. Dabei sollte dieses Gas, Methan geheißen, gar nicht einmal so unbekannt sein, ist es doch zu annähernd 40 % in unserem Heizgas enthalten. Die aufsteigenden Blasen zeigen an, daß sich auf dem Grunde des Gewässers organische Stoffe zersetzen, in kleinere Bestandteile zerlegt werden. Einer davon ist das Gas Methan. Die Umwandlung geht nur langsam vor sich, wird aber, wie nicht anders zu erwarten, durch Temperatursteigerung stark beschleunigt. Stets muß jedoch der Sauerstoff der Luft ferngehalten werden.

Eine gleiche Zersetzung — der Chemiker nennt sie (trotz des den Luftzutritt verhindernden Wassers) eine „trockene Destillation" — erlitten nun die gewaltigen Stämme des Kohlezeitalters. Auch hier bildete sich als ein Spaltprodukt Methan, das in diesem Falle Grubengas genannt wird und ein unbeliebter Gast in den Flözen ist. Die Jahrmillionen haben unter günstigen Bedingungen die Zersetzung so weit getrieben, die Zertrümmerung der Moleküle so weit gedeihen lassen, daß fast reiner Kohlenstoff zurückgeblieben ist. Das sind die ältesten Kohlen, wie wir sie in England in den Anthrazitgruben finden. Hier kann man — beinahe — Kohle gleich Kohlen*stoff* setzen.

In den meisten Fällen ist jedoch die Zersetzung noch nicht bis an diesen Grad gelangt. Vielleicht kümmern wir uns, wenn wir uns einen genaueren Einblick in das Wesen dieser Molekülzertrümmerung verschaffen wollen, einmal etwas näher darum, was — chemisch gesehen — denn eigentlich das Ausgangsmaterial, heute wie damals, für die Kohle gewesen ist.

Der Baum besteht zum großen Teil aus Holz; das ist die Wand der Zellen. Wir wollen uns allerdings vor dem Glauben hüten, als wenn dieser Zellstoff oder, wie der Chemiker sagt, die Zellulose das ausschließliche Material für den Bau des Pflanzenkörpers ist. Für das Leben ist der Zellinhalt, die Eiweißsubstanz Protoplasma, ebenso wichtig. Wir finden seine Zertrümmerungsstücke in dem Gaswasser der Leuchtgasfabriken als Ammoniak wieder. In seiner lebenden Form jedoch ist es die Eiweißgrundlage für jedes tierische und menschliche Leben.

Für die Kohlebildung der abgestorbenen Flora kommt jedoch hauptsächlich die verholzte Zellwand, die nicht immer unbedingt von riesigen Bäumen, sondern mitunter auch von sehr kleinen Pflanzen, wie den Torfmoosen stammen kann, in Frage. Chemisch gesehen, besteht das sie bildende Zellulosemolekül nur aus den drei Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Allerdings ist dieses Molekül riesengroß. Es muß von jedem einzelnen dieser Elemente eine ungeheure Anzahl enthalten, ohne daß sich — wenigstens bisher — die genaue Zahl ermitteln läßt. Was wir aber bestimmt weiter noch aussagen können ist, daß auf jedes Kohlenstoffatom zwei Wasserstoff- und ein Sauerstoffatom kommen. Zellulose gehört also, wie übrigens Zucker und Stärke auch, zu den Kohlehydraten.

Wird Zellstoff unter Ausschluß von Luftsauerstoff, wie er von dem Sumpfwasser des Karbons bewirkt wurde, erhitzt, so zersetzt sich das riesengroße Molekül allmählich. Die Spaltstücke sind recht verschiedener Natur. Stets zeigt sich jedoch, daß, je weiter der Prozeß fortgeschritten ist, eine immer größere Anreicherung des Produkts an Kohlenstoff eintritt. Mit anderen Worten heißt das, daß zuerst wasserstoffreiche Verbindungen, wie etwa das Grubengas, abgespalten werden. Sind die Lager also sehr, sehr alt, so enthalten sie bis zu 98 % reinen Kohlenstoff. Das gleiche würde sehr wahrscheinlich auch den jüngeren Lagern geschehen, wenn man ihnen einige weitere Jahrmillionen Zeit gönnte. Da wir das jedoch nicht tun, fördern wir diese Kohlen in einem Zustand, in dem die Zersetzung des Zellulosemoleküls noch lange nicht beendet ist. Wir fallen der Natur in den Arm, indem wir ihr die Kohle unter dem Hammer, mit dem sie die Stücke immer weiter und weiter zerkleinern will, entreißen. Das Zerstörungswerk ist also nicht vollendet, wir haben — neben vollständig zertrümmerten Molekülen — die Bruchstücke in Händen, die beim Zerschlagen des Zellulosemoleküls entstanden sind. Sie sind nicht so groß wie dieses, können aber immerhin noch von erheblicher Größe sein. Je nach den Bedingungen, unter denen sich der Zersetzungsprozeß abgespielt hat, werden die Kohlen wechselnd in ihrer Zusammensetzung sein. Eines ist aber sicher: Kohle ist nicht gleich Kohlenstoff.

Übrigens kann der Mensch die weitere Zertrümmerung bis zum letzten nicht flüchtigen Baustein, dem Kohlenstoff, von sich aus beenden. Er braucht dazu ja nur die Bedingungen, unter denen sich die Steinkohlenlager gebildet haben, nachzuahmen. Natürlich müßten wir dann den Vorgang etwas zu beschleunigen suchen, wenn wir das Resultat unserer Bemühungen noch erleben wollen. Vielleicht ahmen wir den Naturvorgang nicht in allen Einzelheiten getreulich nach, wenn wir die Verkürzung des Zerfalls bei *höherer Temperatur* vor sich gehen lassen; aber im wesentlichen kommen wir den natürlichen Bedingungen ziemlich nahe, wenn wir die geförderte Steinkohle in großen gemauerten und nur mit einem Abzugsrohr versehenen Kammern durch Flammengase erhitzen, wie das in den Gasanstalten und Kokereien geschieht.

Erst dann werden wir erstaunt feststellen können, wieviele Stoffe sich noch außer dem Kohlenstoff, der als Koks zurückbleibt und das Hauptprodukt bildet, aus dem zerfallenden Zellulosemolekül gewinnen lassen. Das Leuchtgas — besser redet man von Heizgas — enthält die winzigen gasförmigen Bruchstücke Wasserstoff (rund 50 %), Methan (rd. 40 %) und das giftige, unsichtbare und leider auch geruchlose Kohlenmonoxyd (rd. 8 %). Im Gaswasser findet sich als ein Rest des Protoplasmamoleküls das uns schon bekannte Ammoniak; aus dem gleichen Molekül stammt der gewonnene Schwefel. Das Benzol ist ein weiteres nützliches und bekanntes Nebenprodukt. Vor allem aber enthält der *Teer* wichtige und wertvollste Stoffe, die zur Grundlage ganzer Industrien geworden sind. Und alle diese Produkte sind früher einfach verheizt und durch den Schornstein gejagt worden. Es ist somit ein Raubbau mit einem unserer wichtigsten Rohstoffe getrieben worden, den wir alle Ursache haben — nachdem wir wissen, welche wertvollen Nebenprodukte sich daraus gewinnen lassen — zu verhindern.

Übrigens der Teer! Wer wüßte nicht wenigstens *einige* Produkte aufzuführen, die sich aus diesem unscheinbaren und wenig ansprechenden klebrigen Stoff gewinnen lassen? Die Anilin- oder Teerfarbstoffe, die Indanthrenfarben, Aspirin, Antipyrin und die meisten anderen Medikamente lassen sich aus ihm gleicherweise darstellen wie die bekannte Karbolsäure. Nun muß man allerdings nicht glauben, daß alle diese Stoffe sich wie die zuletzt genannte Säure fertig gebildet im Teer vorfinden und sich etwa durch einfaches Herauslösen daraus gewinnen ließen. Das ist ein fundamentaler Irrtum. Im Teer findet sich nämlich nur diejenige Substanz, die das Ausgangsmaterial für alle diese verschiedenen Molekülarten bildet, das Benzol. Es ist ein Spaltstück der Steinkohle, eine leichtsiedende, sehr feuergefährliche und nicht unangenehm riechende Flüssigkeit, die — leider Gottes — sehr häufig mit Benzin verwechselt wird, auf das wir noch zu sprechen kommen werden. Hier möge nur schon erwähnt werden, daß Benzin bis vor kurzem fast ausschließlich aus dem bei uns sehr dürftig vorkommenden Petroleum destilliert wurde (bis der deutsche Chemiker auch hier

einen Ausweg fand), während sich das Benzol aus einem rein deutschen Produkt, eben der Steinkohle, gewinnen läßt. Benzol brennt bei ungenügender Luftzufuhr mit stark qualmender Flamme — was alle Benzin-Benzolgemisch tankenden Autofahrer bei zu langer Betätigung des Startvergasers bedenken sollten. In früheren Zeiten ließ man einen großen Teil des leichtverdampfenden Benzols bei der Gasfabrikation im Gas darin, so daß es beim Abbrennen in offenen Schnittbrennern leuchtete. Heute ist der Name Leuchtgas völlig unangebracht, da wir das Gas ausschließlich zum Heizen, sowohl im Kocher als auch im Glühstrumpf, benutzen. Das rußende Benzol würde heute sogar, im Gegensatz zu früher, sehr lästig sein, da es den Kochtopf nur schwärzen würde. Man wäscht es aus diesem Grunde, und weil es sich eben auch viel nützlicher verwenden läßt, mit schweren Ölen aus dem Gas völlig heraus, bevor man es dem Gasmotor zuführt.

Wenn wir uns jetzt vorerst einmal vom Benzol verabschieden, so ist das keine endgültige Trennung. Häufig noch werden wir von ihm hören, jetzt ist es für uns jedoch ein zu schwieriger Gegner; das Molekül hat sich zu einem festen Ring geschlossen, der uns das Eindringen gar zu schwer macht. Aber wir haben auch sonst noch allerhand interessante Dinge von der Kohle zu erzählen.

2.

Vergasung und Verflüssigung der Kohle, vor allem der letzte Begriff, sind technische Prozesse, von denen heute viel gesprochen wird. Daß damit der Chemiker irreführende Bezeichnungen für zwei große und glänzende Verfahren gewählt hat, mag ihm verziehen sein, da wir mit diesen Prozessen wieder ein gut Teil weiter gekommen sind in unserer Selbständigkeit dem Auslande gegenüber. Unter „Vergasung" und viel mehr noch unter „Verflüssigung" dürfte, streng genommen, nur eine physikalische Veränderung des Stoffes angesprochen werden, d. h. die Überführung des flüssigen Zustandes der Materie in den gasförmigen und des gasförmigen Zustandes in den flüssigen, wie er etwa durch Abkühlung eines Gases erreicht werden kann. Die Technik meint jedoch mit ihrer Bezeichnung lediglich, daß in den genannten Prozessen gasförmige und flüssige Substanzen gewonnen werden, ohne daß diese identisch mit den Ausgangsstoffen zu sein brauchen. (Übrigens: Kohlenstoff, wie er etwa im Koks vorliegt, läßt sich — jetzt wieder streng physikalisch gesprochen — weder verflüssigen noch vergasen.)

Die Leuchtgasfabrikation ist der älteste und uns schon bekannte Vergasungsprozeß der Kohle. Aber, und auch das wissen wir, das

Gas ist bei weitem nicht das Hauptprodukt, ebensowenig wie Benzol, Karbolsäure, Teer oder irgendein anderer Stoff, sondern der Koks, der, abgesehen von mineralischen Aschenbestandteilen, fast reiner Kohlenstoff ist. Wer heizt, kennt auch Koks, diese harte, spröde und doch poröse Masse. Bei der Verbindung mit dem Luftsauerstoff geht er in das gasförmige Kohlendioxyd über, das durch den Schornstein entweicht. Jede Verbindung mit Sauerstoff — Verbrennung oder Oxydation sagt der Chemiker dazu — ist jedoch mit Wärmeabgabe verbunden, die wir eben in diesem Falle als Heizung wollen und benutzen. Nach der Menge Wärme, die ein Heizmaterial bei völliger Verbrennung abzugeben vermag, wird es auch bezahlt; nicht umsonst ist der Preis für Feuerungsmaterial unterschiedlich angesetzt. Verbrennt man 1 Kilogramm Koks, so kann man rund 75 Liter Wasser damit von 0—100° erhitzen, oder, anders ausgedrückt, kann man auch sagen, daß der Wärmeinhalt von 1 kg Koks 7500 Kalorien beträgt. Wenn er völlig verbrannt wird!

Ist es schön warm im Zimmer geworden, so drosselt man die Luftzufuhr im Ofen, indem man die Klappen schließt. Sieht man dann einige Minuten später durch die Fülltür von oben auf die Glut, so gewahrt man auf ihr überall kleine hellblaue, nur schwach leuchtende Flämmchen. Das ist brennendes Kohlenmonoxyd.

Der Kohlenstoff kann sich nämlich sowohl mit einem als auch mit zwei Atomen Sauerstoff verbinden. Beides liefert gasförmige Stoffe. Im ersten Fall entsteht Kohlenmonoxyd (CO = 1 Atom Kohlenstoff verbunden mit 1 Atom Sauerstoff), vornehmlich bei Sauerstoffmangel, im zweiten, bei reichlich vorhandenem Sauerstoff, CO_2. CO ist also die Anfangsstufe, CO_2 die Endstufe der Oxydation. Kohlenmonoxyd ist ein Gas wie viele andere auch: Farblos, geruchlos, geschmacklos — aber außerordentlich schädlich. Ihm „verdankt" das Leuchtgas seine Giftigkeit. (Da auch die anderen Bestandteile die gleichen Eigenschaften — außer der Giftigkeit — aufweisen, gibt man künstlich Geruchsstoffe hinzu, damit bei nichtgewolltem Ausströmen sich der unangenehme Gast bemerkbar macht.) Überall, wo kohlenstoffhaltiges Brennmaterial nur unvollkommen verbrannt wird, besteht Vergiftungsgefahr, sei es bei zu frühem Schließen des Dauerbrandofens, bei Aufstellen eines offenen Koks- oder Holzkohleofens im Zimmer oder beim Warmlaufenlassen des Motors in der geschlossenen Garage. Die Zeitung redet dann häufig von giftigen „Kohlengasen".

Kohlenmonoxyd ist brennbar; es verbindet sich mit einem weiteren Atom Sauerstoff zu Kohlendioxyd. Dieser Vorgang ist es, den wir vorhin über der Ofenglut beobachtet haben. Da bei diesem

Prozeß eine erneute Sauerstoffaufnahme des Kohlenstoffs stattfindet, werden wir uns nicht wundern, wenn dabei Wärme frei wird. Über die Größe dieser Wärmemenge ist man sich jedoch meistens nicht klar. Bei der Verbrennung von Kohlenstoff zu CO wird nämlich nur ¹/₃, rund 2500 Kalorien, des gesamten Wärmeinhalts freigemacht; ²/₃ oder fast 5000 Kalorien entstehen in der zweiten Phase, wenn CO zu CO_2 verbrennt. Das muß jeder Heiztechniker — und am besten nicht nur der — wissen, wenn der volle Heizwert des Brennmaterials ausgenutzt werden und nicht ²/₃ ungenutzt durch den Schornstein streichen soll.

Fester Brennstoff wird nun in der Technik nicht sehr gerne verwendet. Am liebsten bedient man sich dort gasförmiger Heizung, da man diese an jeder gewünschten Heizfläche und ohne daß man dort die unangenehmen Rückstände erzeugt verfeuern kann. Man könnte für diesen Zweck Leuchtgas benutzen. Das tut man auch zuweilen. Andere Heizgase erweisen sich jedoch als praktischer.

Da ist z. B. das Generatorgas („Erzeuger"gas), das wir eigentlich schon kennen. Es wird einfach dadurch hergestellt, daß Luft in unzureichender Menge über glühenden Kohlenstoff — Koks — geleitet wird. Es geschieht also nichts anderes als in einem zu stark gedrosselten Ofen. Der Kohlenstoff verbrennt nur bis zum Kohlenmonoxyd, so daß, da in der Luft ja nicht nur Sauerstoff, sondern auch zu 80 % Stickstoff enthalten ist, ein Gemenge entsteht, welches durch das darin enthaltene Kohlenmonoxyd brennbar ist und in Gasometern gesammelt oder sofort durch Rohre an die gewünschte Stelle geleitet werden kann. Der Kohlenstoff wird auf diese Weise völlig in CO übergeführt, er wird „vergast".

Der Wärmeinhalt dieses „Kraft"gases ist, im Gegensatz zu seinem Namen, nicht allzugroß, da der brennbare Teil ja ¹/₃ des Gemenges ausmacht und ²/₃ als Stickstoffballast, der unnötige Wärme verschluckt, mitgeschleppt wird. Andererseits spielt das Generatorgas in der modernen chemischen Technik eine überragende Rolle, weil man aus ihm den für den synthetischen Ammoniakprozeß benötigten Stickstoff gewinnt. Wieder einmal hat sich in der Technik die Wertung eines Prozesses umgekehrt, wie wir das bei dem Verhältnis des Kochsalzes zu dem der Abraumsalze schon einmal kennen gelernt haben. Früher war beim Kraftgas der Stickstoff Ballast und das Kohlenmonoxyd das Erwünschte, während heute mit viel Arbeitsaufwand das Kohlenmonoxyd daraus entfernt wird, um den Stickstoff zu gewinnen. Es wird uns nicht erspart bleiben, den Kampf der Technik gegen das jetzt überflüssig gewordene Kohlenmonoxydmolekül nachzuerleben.

Neben den beiden gekennzeichneten Methoden der Kohlevergasung — der Leuchtgasfabrikation und der Erzeugung des Generatorgases — gibt es noch ein drittes, gleichem Ziele dienendes Verfahren. Es ist mir seiner Zeit als Student durch private Erfahrungen sehr deutlich vor Augen geführt worden.

Es war in Marburg, jener kleinen, entzückenden Universitätsstadt, die, mit dem krönenden Schloß als Abschluß sich rund um den Berg ziehend, mich auch heute noch immer wieder durch ihre kleinen verwinkelten Gäßchen und altertümlichen Häuser, in welche man unten eintritt und die man im obersten Stock auf der nächst höher gelegenen Gasse wieder verlassen kann, anzieht. Es war ein rechtes und schönes Studentendasein, das wir, mein Studienfreund und ich, kurz vor dem Weltkrieg dort verlebten. Klein, niedrig und winklig war auch unsere Bude, die wir zu zweit — in der durchaus richtigen Erkenntnis, daß sie in den ersten Semestern wohl hauptsächlich nur als Schlafgelegenheit dienen würde — gemietet hatten. Zu den anheimelnden Buden gab es auch stets die treue und besorgte, auch wohl „mahnende" Studentenmutter. Wie manches Mal brachte sie uns in den berühmten letzten Monatstagen, so etwa vom 10. ab, einen Teller kräftige Suppe, die „zufällig" übrig geblieben war, oder ein paar Schnitten Brot, die, wenn wir die Annahme verweigern sollten, doch „nur der Hund bekommen würde". Und wie manches Mal empfing uns bei der Heimkehr im Winter der wärmende und rötlich vergnügt grinsende eiserne Ofen; denn die Gute wußte nur zu genau, daß zu allererst *er* bei mangelnden Mitteln auf seine Nahrung würde verzichten müssen. Das heißt: Meinem Freunde bereitete sie mit dem Einheizen ernstlich Verdruß. Ich für meinen Teil gebe zu, daß auf der winterlichen Eisbahn auch und ganz besonders die gut durchwärmte Erfrischungshalle ihre Reize für mich hat, er dagegen gehörte zu den begeistertsten Frisch- und Kaltluftaposteln. Aber weder ich noch meine Wirtin waren bereit, dem gleichen Erkältungsmoloch in ebenso heftiger Form zu opfern. Allerdings muß um der Gerechtigkeit willen gesagt werden, daß ich niemals wieder einen zweiten Ofen gefunden habe, der eine gleiche intensive Glut ausgestrahlt hätte wie dieser in der Renthofgasse. Man sagt, daß eiserne Öfen wohl schnell heiß würden, aber auch schnell wieder erkalteten. Dieser machte eine Ausnahme von der Regel. Jedenfalls hatte mein Freund nicht ganz unrecht, als er an einem milden Winterabend schließlich aus dem Bett sprang und schrie, daß das nun nicht mehr länger auszuhalten sei. Das mußte ihm auch von mir zugebilligt werden. Was ich jedoch nicht billigen konnte war, daß er voller

Wut seinen Waschkrug nahm und das kühle Naß mit gewaltigem Schwung auf die restliche Kohlenglut goß. Jetzt mußte ich nämlich ebenfalls schleunigst dem Bette entfliehen. Es nützte zwar nichts, denn der Ofen war doch nicht mehr da. Aber immerhin hieß es doch, die aufgestörten Nachbarn über den gewaltigen Knall aufzuklären und zu beruhigen, und es erwies sich auch als ganz nützlich, die Fensterscheiben wenigstens mit Packpapier zu verkleben.

Mein juristischer Freund hat seit dieser Zeit einen großen Abscheu vor der Chemie und einen riesigen Respekt vor *Wassergas*, das er, ohne es zu wissen, auf diese Art hergestellt hatte.

Die moderne Technik arbeitet genau nach dem Marburger Verfahren. Jedenfalls dem Prinzip nach.

Leitet man nämlich heißen Wasserdampf über glühenden Kohlenstoff — die Technik nimmt dazu immer Koks —, so erweist sich, daß der Sauerstoff sich unter diesen Bedingungen lieber an den Kohlenstoff als an den Wasserstoff hält. Er trennt sich somit von seinem treuen Gefährten im Wasser und verbindet sich dafür mit dem heißen Kohlenstoff zu dem uns nun schon sattsam bekannten Kohlenmonoxyd. Der Kampf der Moleküle um den Sauerstoff endet damit, daß der aus dem Wassermolekül übriggebliebene Wasserstoff und das neu gebildete Kohlenmonoxyd im Verhältnis 1 : 1 vom Menschen als Wassergas aufgefangen und für seine Zwecke benutzt werden. Im Wassergas findet sich keinerlei Ballast. Beide Bestandteile, Wasserstoff und Kohlenmonoxyd, aus denen es ausschließlich besteht, sind brennbar. (In geeigneter Mischung mit Luft sogar explosiv — würde mein Freund sagen können.) Der Heizwert ist somit sehr groß.

Es verlohnt sich, das Kampffeld der Moleküle noch nicht zu verlassen, denn immerhin läßt sich noch einiges aus dem Streit um den Sauerstoff lernen.

Wir wissen, daß beim Verbrennen von Wasserstoff — etwa im Leuchtgas — Wärme auftritt oder frei wird. Es ist ja eine Vereinigung mit Sauerstoff, eine Oxydation. Ebensogut wird aber Wärme frei, wenn Kohlenstoff, und sei es auch nur zu Kohlenmonoxyd, verbrennt. Beide Prozesse sind exotherm (d. h. bei beiden kommt „Wärme heraus"). Allerdings liefert Wasserstoff viel mehr Wärme als eine gleichgroße Kohlenstoffmenge. Die Synthese des Wassers — das ja beim Verbrennen von Wasserstoff entsteht — liefert nämlich die größte Energiemenge, in Form von Wärme, die dem Chemiker überhaupt zur Verfügung steht. Die gleiche Energiemenge ist natürlich — übrigens ist das „natürlich", welches das Gesetz von der Erhaltung der Energie ausspricht, für uns Menschen noch keine hundert Jahre natürlich und für die „Perpetuummobilisten" immer noch nicht natürlich — nötig, um den Sauerstoff von seinem Begleiter im Wasser, dem Wasserstoff, zu trennen. Dieser Prozeß ist „endotherm", d. h. von Wärmeaufnahme abhängig; es muß Wärme hineingesteckt werden.

Bei der Darstellung des Wassergases wird nun dem Wasser der Sauerstoff entzogen. Dazu braucht es Wärme und zwar viel Wärme. Mit diesem Sauerstoff verbindet sich nun allerdings der Koks, und dabei wird Wärme frei. Da die auftretende Wärmemenge jedoch geringer ist als die zur Trennung des Wassermoleküls benötigte, muß von außen Energie in Form von Wärme zugeführt werden. Tut man das nicht, so kühlt sich der zu Beginn des Prozesses glühende Koks immer mehr und mehr ab, und schließlich kommt damit der Vorgang zum Stehen.

Die Technik hilft sich nun sehr einfach dadurch, daß sie dem Koks, ehe er zu kalt wird, anstatt des bisher darüber geleiteten Wasserdampfes Luft zuführt. Damit entsteht Kraftgas. Da es sich dabei um einen reinen Oxydationsprozeß handelt, beginnt der Kohlenstoff sich wieder zu erhitzen. Dann schaltet man erneut auf Wasserdampf um. Durch diesen regelmäßigen Wechsel, der das eine Mal Kraft-, das andere Mal Wassergas liefert, ist ein ununterbrochener Betrieb möglich. Nicht immer fängt man die beiden Gase, wenn man sie als Heizgase benutzen will, getrennt voneinander in zwei verschiedenen Gasometern auf. Leitet man sie in einen einzigen, so nennt man das Gemisch Mischgas.

Bei den letzten beiden Prozessen, der Kraft- ebenso wie der Wassergasbereitung, verschwindet der Kohlenstoff völlig. Im Kraftgas liefert er CO, im Wassergas findet sich neben diesem noch Wasserstoff. Beide Male ist der Kohlenstoff „vergast".

Auch das Wassergas spielt, genau wie das Kraftgas, nicht nur als Heizgas in der Technik eine große Rolle. Es ist vielmehr der treue Begleiter des Kraftgases bei der Ammoniaksynthese. Lieferte dieses den nötigen Stickstoff, so jenes den nicht minder wichtigen Wasserstoff.

Stickstoff aus der Luft, Wasserstoff aus dem Wasser, beides bereitet mit deutscher Kohle, — das sind die Stoffe, die unter Bindung zu Ammoniak unsere Nährfreiheit auf dem Gebiet der Stickstoffdüngung sichern und im Kriegsfalle nie wieder den so bitter empfundenen Munitionsmangel auftreten lassen sollen.

Allerdings muß, damit diese Vereinigung zu Ammoniak erfolgen kann, beiden Ausgangsstoffen das gleiche unnötige und hindernde Kohlenmonoxyd entzogen werden. Das geschieht auf geniale Weise

dadurch, daß man die Ausgangsstoffe mit neuem Wasserdampf über geeignete Kontaktsubstanzen, von deren Wirkung schon früher gesprochen wurde, leitet. Unter dem Einfluß dieser Katalysatoren = Auslöser (dieser Ausdruck ist eigentlich falsch, denn der Prozeß kann nur beschleunigt, niemals ausgelöst werden) entzieht das Kohlenmonoxyd dem zugegebenen Wasser ein weiteres Atom Sauerstoff, wobei es selber in Kohlendioxyd übergeht und der freiwerdende Wasserstoff nicht unwillkommen ist. Kohlendioxyd läßt sich aus dem Gemisch sehr einfach durch Wasser herauslösen. Die Löslichkeit ist ja auch uns von den sprudelnden Erfrischungsgetränken her nicht unbekannt.

Wie eine geeignete Mischung von Stickstoff und Wasserstoff dann zum Ammoniak vereinigt wird, dieses Wunder der modernen Technik wurde früher ausführlich erzählt. Staunenswert ist es auch, daß es dem Deutschen Ostwald gelang, das Ammoniak, unseren Salmiakgeist!, — zu verbrennen, d. h. mit Sauerstoff zu Salpetersäure zu oxydieren. Allerdings gelingt das wieder nur unter dem beschleunigenden Einfluß von Kontaktsubstanzen, so daß die Gefahr der brennenden Salmiakgeistflasche nicht zu befürchten ist. Von der Salpetersäure bis zum Chilesalpeter war, da es sich bei ihm um die Natriumverbindung dieser Säure handelt und Natriumverbindungen in Form von Kochsalz in Deutschland ja reichlich zur Verfügung stehen, dann nur ein Schritt. Die Technik ist ihn gegangen, und uns kann es jetzt ziemlich gleichgültig bleiben, daß die chilenischen Naturlager bald abgebaut sein werden.

Noch eleganter und staunenswerter ist aber das chemische Verfahren, welches nun wirklich den ursprünglichen Düngestoff, wie er sich in jedem Wirtschaftsdünger als wesentlicher Bestandteil findet, darstellt. Es ist der Harnstoff, der als letzter Rest des im tierischen Organismus zertrümmerten und verbrauchten Eiweißmoleküls ausgeschieden wird. Mit Hilfe von Kohlensäure, die ja bei Reinigung der Ausgangsstoffe in großer Menge anfällt, und des Ammoniaks gelingt es, diesen wertvollsten — weil stickstoffreichsten — Dünger rein darzustellen, sozusagen eine auf den Wirkungsgrad 100 % gebrachte Jauche. Der Düngezirkel hat sich geschlossen! Die Technik ist imstande, der Landwirtschaft den von jeher verwandten, allbekannten, ältesten Wirtschaftsdünger in hoher Konzentration zu liefern. Wir wollen bescheiden bleiben: Aber immerhin ist es geglückt, ein vom tierischen Organ gebildetes Produkt in beliebiger Menge nachzubilden, das sich in nichts, aber auch in gar nichts von ihm unterscheidet, und es dem Landmann in einer Form zur Verwendung zu geben, die ihm jede gewünschte Dosierung gestattet.

Wir gewöhnen uns schnell an alles gute Neue. Und sind auch gerne bereit, die Anstrengungen und Erfolge der modernen Wissenschaft und Technik mit einem zufriedenen und dankbaren Lächeln anzuerkennen. Hin und wieder lohnt es sich aber doch einmal, wenn man die riesenhaften Fortschritte und die neuerworbenen Erkenntnisse richtig einschätzen will, seine Blicke etwas, und sei es auch nur einige Jahrzehnte, zurückschweifen zu lassen.

Zur Zeit Liebigs gab es noch viele andere bedeutende Chemiker. Wie denn überhaupt zu Anfang des vorigen Jahrhunderts die Chemie ihren ersten großen Schritt als Wissenschaft tat. Es sind schon viele Namen genannt worden, bis Liebig durch seine Taten den Ruhm des größten Chemikers an die deutsche Fahne heftete. Aus der Reihe der fast ebenso bedeutenden Männer verband Liebig eine innige Freundschaft mit dem deutschen Chemiker Friedrich Wilhelm Wöhler (1800—1882). Dieser stellte 1827 zuerst das heute zum Gebrauchsmetall gewordene Aluminium dar, und ihm gelang die *künstliche* Darstellung des Harnstoffs. Das Jahr der Harnstoffsynthese — es war 1828 — gilt als Wendepunkt in der Chemie, da es hier zum erstenmal glückte, aus einem zweifellos leblosen Stoff (Ammoniumcyanat) durch Umlagerung im Molekül etwas zu schaffen, von dem man bis dahin glaubte, daß dazu das lebende Organ imstande sei. Die Bildung derartiger Stoffe, so nahm man an, sollte eine *Lebenskraft* zustande bringen. Man sprach infolgedessen von „organischer" Chemie im Gegensatz zur „anorganischen". Wöhler erbrachte durch die synthetische Darstellung des Harnstoffs als erster den Beweis, daß es eine derartige Lebenskraft nicht gibt. Für unsere Weltanschauung eine nicht gering zu wertende Grundlage. Seinem guten Freunde Liebig teilte er den erzielten Erfolg in der zwar nicht besonders feinen, aber für die Anschauung unmißverständlichen Form mit, daß sein geschaffener Stoff sich in nichts von ganz gewöhnlichem — Verzeihung — Pisseharnstoff unterschiede.

Durch die Wöhlerschen Arbeiten ist die alte Einteilung der Chemie in einen organischen und anorganischen Teil überholt. Wenn trotzdem diese Anordnung noch beibehalten worden ist, so ist das einmal der in seinem Beharrungsvermögen immer noch nicht zu unterschätzende alte Zopf, obgleich auch nicht unberücksichtigt bleiben kann, daß die „organische" Chemie, die wir viel besser als die Chemie der Kohlenstoffverbindungen bezeichnen, durch ihre riesengroße Zahl von Molekülarten und wegen der besonderen Eigenschaften ihrer Vertreter eine gesonderte Behandlung verlangt.

3.

Aus dem bisher Gesagten wird schon deutlich geworden sein — obwohl bei weitem noch nicht alle Verwendungsgebiete besprochen worden sind —, welche Bedeutung der Kohle für das Wirtschaftsleben eines Volkes zukommt. Eisen und Kohle sind noch immer, trotz Aluminium und Erdöl, die weitaus wichtigsten Güter unserer Zivilisation. Deutschland verfügte vor dem Kriege mit einem Vorrat von 300—400 Milliarden Tonnen über mehr als die Hälfte der europäischen Steinkohlenschätze. Ruhrgebiet, Oberschlesien, das Saargebiet, Sachsen und Niederschlesien sind die Landstriche, die diesen Reichtum bergen. Durch das Versailler Friedensdiktat sind uns viele Milliarden Tonnen entrissen worden, so daß wir alle Ursache haben, mit unseren uns verbliebenen Schätzen sparsam umzugehen. Gottlob sind wir jedoch nicht ausschließlich auf Steinkohle angewiesen, wenn wir in der Technik Kohlenstoff gebrauchen. Mehr und immer mehr ist es gelungen, auch die zweite in Deutschland reichlich vertretene fossile (lat. ausgegraben) Kohle, die *Braunkohle*, für alle Zwecke nutzbar zu machen, während sie früher fast ausschließlich in Brikettform als Hausbrand Verwendung fand. Allerdings sind die Mengen, die unsere Heimat davon birgt, nur gering zu nennen gegenüber dem Steinkohlenvorkommen. Der Energiemenge nach sind es im Vergleich zu dieser nicht viel mehr als 2 %. Sie ist jedoch leicht abzubauen, ohne Schächte — im Tagebau, wie der Bergmann sagt —, und in ihrer Behandlung, die auch die Bereitung von Koks ermöglicht, ist die Technik so weit fortgeschritten, daß große Fabriken — wie die oft erwähnten Leunawerke — ihre riesigen Anlagen eben wegen der dort vorhandenen Braunkohle möglichst nahe am Gewinnungsort errichten. Die wichtigsten deutschen Lagerstätten finden sich am Niederrhein, im thüringisch-sächsischen Gebiet um Halle, in der Lausitz und im Sudetenland.

Die Braunkohle ist sehr viel jünger als die Steinkohle. Wir werden uns, auch wenn die Art der Lagerbildung ähnlich verlaufen ist, infolgedessen nicht wundern, wenn ihre Zusammensetzung eine wesentliche andere und vor allen Dingen der Kohlenstoffgehalt geringer ist. Die Braunkohle hat sich vorwiegend aus Nadelhölzern und Laubbäumen gebildet. Man kann infolgedessen nicht etwa die Braunkohle lediglich als eine jüngere Form der aus Schachtelhalmen und Farnen entstandenen Steinkohle ansprechen. Beide Fossilien sind weitgehend verschiedenartig zusammengesetzt, und niemals wird etwa, selbst wenn man ihr genügend Zeit ließe, aus Braunkohle Steinkohle. Es ist demnach auch wohl verständlich, daß je nach der Art der Verkokung, etwa durch Änderung der dazu angewandten Temperaturen oder bei Verwendung von Braunkohle aus den verschiedenen Lagerstätten, die gewonnenen Produkte sehr unterschiedlich sein können. Die Braunkohlen Thüringens und Sachsens liefern z. B. bei der trockenen Destillation, wenn sie bei möglichst niedriger Temperatur vorgenommen wird, fast gar kein Gas, aber neben dem in den Retorten zurückbleibendem, allbekannten Grudekoks viel Braunkohlenteer, aus dem man petroleumähnliche Stoffe und Paraffin gewinnt, was uns noch späterhin interessieren wird.

Es ist nicht überflüssig, am Ende auch von dem dritten Lieferanten für Kohlenstoff, dem Torf, zu sprechen. Weite Gebiete, vor allem der norddeutschen Tiefebene, sind von Torfmooren bedeckt, in denen, nicht anders als in altersgrauer Vorzeit, sterbende Pflanzen im Wasser versinken und sich zersetzen. Der frisch gewonnene Torf erschwert, mehr noch als die Braunkohle, durch seinen hohen Wassergehalt, die Verwendung. Daß in ihm, als dem jüngsten Kinde der Kohlenlagerbildung, die Anreicherung an Kohlenstoff bisher nicht sehr weit vorgeschritten ist, wird niemanden wundernehmen. Die Natur beginnt ja erst, das Molekül zu zerstören. Es ist aber nicht daran zu zweifeln, daß der Mensch in späteren Zeiten auch auf diese Energiereserve zurückgreifen wird.

Die Torfmoore haben, äußerlich gesehen, nur wenig mehr gemeinsam mit den Sumpfwäldern des Karbons oder der Braunkohlezeit. Die riesigen Stämme von einst, die die späteren Lager bildeten, sind ersetzt durch winzige Moose, und man könnte es für ein lächerliches Unterfangen halten, daß die Natur in unseren Tagen versucht, mit derart kümmerlichen botanischen Vertretern im hartnäckigen Festhalten an alten Gewohnheiten erneut Kohlelager zu bilden. Wenn, — ja, wenn die Natur uns nicht schon mehrfach Anschauungsunterricht über ihre sehr wandlungsfähigen Methoden erteilt hätte. Fast niemals ist nämlich die Einzahl des Mächtigen und Kräftigen der Sieger, sondern weit öfter die unvorstellbare Häufigkeit des Winzigen. Als Beispiele seien nur die gewaltigen Berge der Kalkalpen genannt, die aus den Schalen sehr kleiner Muscheln erbaut worden sind. Die Kreide der Champagne (auf der übrigens der schlechteste Wein Frankreichs wächst, weswegen man ihn zum Champagner verarbeitet) oder die Kreidefelsen Rügens und der englischen Küste zeigen gleichermaßen die gewaltige Kraft dieses winzigen Baumeisters. Daß Petroleum sehr wahrscheinlich dem Fett ebenso kleiner Meeresbewohner seine Entstehung verdankt, zeugt ebenfalls wieder für die geballte Massenwirkung des

Geringfügigen. Und so können wir immerhin auch wohl erwarten, daß die Natur in ihrem neuen Arbeitsverfahren, das mit 2 Millionen Hektar Torfmooren etwa 3 % des gesamten deutschen Bodens umfaßt, imstande ist, eine neue Energiereserve zu schaffen.

4.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte haben stets in allergrößtem Maße die politischen Stoßrichtungen eines modernen Staates bestimmt. Glücklich dasjenige Volk, das in seinem eigenen Boden die ausreichende Grundlage für eine Ernährung besitzt oder sich diesen Raum außerhalb seiner nationalen Grenzen zu sichern gewußt hat. Glücklich aber auch derjenige Staat, der aus eigenem die für unsere Kultur unentbehrlichen Naturschätze hat oder sie auf von ihm beherrschten Boden erzeugen kann. Die beiden großen angelsächsischen Nationen, die Vereinigten Staaten von Amerika und England, sind zwei typische Vertreter dieser modernen Wirtschaftsmächte. Nicht umsonst sitzen sie in dem Konzert der Großmächte an den ersten Geigenpulten! Der Besitz wird in geschickten Händen nämlich zur politischen Macht. Kohle, Eisen, Baumwolle und Petroleum sind Produkte, durch die sich eine ganze Welt dirigieren läßt.

Wir Deutsche sind, außer an Kohle, arm an diesen Machtmitteln. Aber wir denken nicht daran, uns dem Wirtschaftsdiktat fremder Mächte zu beugen! Freilich liefert der deutsche Boden von den allermeisten Stoffen nicht die genügenden Mengen, um den Bedarf zu decken. Wohl läßt sich bei genauer und sorgfältiger Durchsuchung unseres Lebensraumes, wie es zurzeit geschieht, noch manch wertvoller Fundort entdecken, aber Petroleum z. B. wird unsere heimatliche Erde niemals im wünschenswerten Maße liefern. Deutsche haben den Explosionsmotor erfunden! Und andere sollten die Früchte dieser genialen Arbeiten ernten? Ganz Deutschland sollte im großen ein Erfinderschicksal erleben, das sonst nur den einzelnen um seinen Lohn betrügt, weil der mächtige Geldmann — in unserem Falle die Erdöl besitzenden Mächte — den unerfahrenen und idealistischen Erfinder mit wirtschaftlichen Druckmitteln matt zu setzen versteht? Niemals! Haben wir den Motor erfunden, so werden wir auch den nötigen Betriebsstoff dazu aus eigenen Mitteln beschaffen. Ruft die Chemie wieder einmal zu Hilfe! Fragt sie, ob sie keinen Ausweg sieht, um sich in weniger glücklichen Zeiten dem Würgegriff eines vor keinem Mittel zurückschreckenden Gegners zu entziehen!

Bevor der Chemiker überhaupt erst einmal helfen, bevor er der Lösung der Aufgabe nähertreten kann, muß er untersuchen, was denn überhaupt von ihm verlangt wird. Er muß den Stoff zerlegen, um ihn dann in großem Maße wieder aufzubauen.

Was ist denn überhaupt dieses Petroleum, dieses Steinöl (petra = Stein, oleum = Öl)?

Es ist derjenige Stoff, um den um die Wende des letzten Jahrhunderts ein machtpolitischer Kampf entbrannt ist, der sich zwar heute in scheinbar ruhigeren Formen vollzieht, aber immer noch nicht entschieden ist. Länder rückten in den Mittelpunkt des politischen Interesses, die lediglich so „glücklich" waren, die früher kaum beachteten Erdölquellen zu besitzen: Persien, Rumänien, Mexiko. Besitzende, wie natürlich wieder einmal die Vereinigten Staaten von Amerika, strebten nach dem Weltmonopol; England mußte, wollte es seine dominierende Stellung in Europa halten, sich fremde Vorkommen sichern, und selbst kleine, unbedeutende Staaten wie Holland, in dessen kolonialem Besitz das Petroleum zu gewinnen war, konnten sich dank diesem Vorkommen in die große Politik einschalten. Auch hier ist Deutschland von der Natur wieder einmal stiefmütterlich behandelt worden; die geringen Mengen, die die Lüneburger Heide sich abpressen läßt, sind ein Tropfen auf den heißen Stein, während die Vereinigten Staaten z. B. rund 60—70 % des Weltverbrauchs erzeugen.

Und wie sind diese gewaltigen Lager denn nun eigentlich entstanden? Wie hat die Natur *diese* riesigen Kraftreserven denn wiederum geschaffen?

Sehr wahrscheinlich — bitte, *wahrscheinlich* — ist es das Fett lang, lang verstorbener Meerestiere, das sich unter Luftabschluß und unter Erwärmung — also ähnlich wie die Kohlelager — zersetzt und schließlich das Petroleum, auch wohl Naphtha genannt, gebildet hat. Es müssen wieder unvorstellbar viele, wahrscheinlich sehr kleine Meeresbewohner gewesen sein. Nach dem früher Gesagten werden wir uns auch wohl mit diesem Gedanken befreunden können. Es ist verständlich, daß unter den nicht immer gleichen Bedingungen verschiedenartige Erdölarten entstanden sind; die Naphtha aus Baku ist ein wesentlich anderer Stoff als etwa das pennsylvanische Öl oder das Petroleum Galiziens. Fast überall wird es mit Pumpen aus der Erde herausgeholt. Das Rohpetroleum ist eine schwarze, meistens dickflüssige, ölartige Flüssigkeit von gar nicht angenehmen Geruch. Wohl kann es wegen seines großen Heizwertes, der sogar größer als derjenige der Kohle ist, direkt verfeuert werden, was auch in den Petroleumgebieten zuweilen geschieht. Die moderne Technik sucht jedoch das Rohpetroleum zu veredeln, zu raffinieren. Petroleum ist nämlich, darin ähnelt es

ebenfalls der Kohle, kein einheitlicher Stoff. Auch hier hat die Natur die ursprüngliche Materie, das recht große Fettmolekül, zertrümmert; auch hier ist es ihr in einigen Fällen gelungen, das ursprüngliche Molekül in sehr kleine, gasförmige Bausteine, zu denen wiederum das Methan gehört, zu zerschlagen. Methan und nahe Verwandte von ihm sind die Ursache für die gewaltigen Springquellen, die jedoch versagen, wenn die Gase entwichen sind. Aber in den meisten Fällen hat die Natur, ebenso wie bei den fossilen Kohlen, das Zerstörungswerk noch nicht beenden können. Die Zwischenstücke auf dem Zerkleinerungswege, die flüssigen und die festen Spaltstücke, bilden das eigentliche geschätzte und gesuchte Petroleum.

Das Rohpetroleum, dieses Gemisch aus vielen Stoffen, wird in der Technik durch unterbrochene (fraktionierte) Destillation in Substanzen von verschiedenen Siedepunkten zerlegt. Bis 150° destilliert das Benzin, das also im Gegensatz zu dem aus Kohle gewonnenen Benzol aus Erdöl gewonnen wird, über. Zwischen 150 und 300° fängt man das Leuchtpetroleum auf. Oberhalb 300° gewinnt man die Gas- und Schmieröle, und aus dem immer dickflüssiger werdenden Rückstand bereitet man in geeigneter Weise die halbfeste Vaseline, die zur Salbenanfertigung dient, und das feste Paraffin, das zur Kerzenbereitung benötigt wird. Für uns moderne Menschen steht heute das Benzin in seiner Bedeutung durchaus an erster Stelle, und wenn wir uns über die mangelnden heimischen Petroleumvorkommen beklagen, so meinen wir damit vor allem den Mangel an Benzin, das bei der Motorisierung nicht zu ersetzen oder zu entbehren ist.

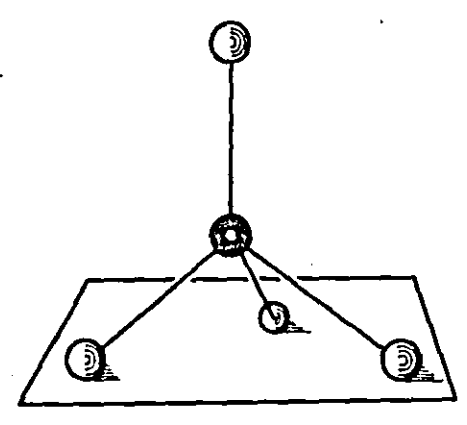
Die deutschen Chemiker haben versucht, diesen Mangel zu beheben. Es ist ihnen, das sei im Vorwege mitgeteilt, gelungen. Völlig gelungen! Bevor wir jedoch diesen Weg, den Kampf um Benzin, kennen lernen, müssen wir uns dieses Mal ein klein wenig tiefer in rein chemische Gedankengänge vertiefen. Ich hoffe, daß meine Leser mir auch hier die Gefolgschaft nicht versagen werden, zumal ich versprechen kann, daß sich allerhand Wissenswertes über das Molekül, von dem dieses Buch ja handelt, ergeben wird. Dem Molekül müssen wir nämlich wieder einmal ein wenig näher treten.

Die Atome schließen sich zu Molekülen zusammen, ist gesagt worden. Etwa, indem zwei Atome Wasserstoff mit einem Atom Sauerstoff zu einem Molekül Wasser oder ein Atom Kohlenstoff mit *einem* Atom Sauerstoff zu dem giftigen Kohlenmonoxyd, mit *zwei* Atomen Sauerstoff dagegen zu dem erstickenden Kohlendioxyd zusammentreten. Das sind Tatsachen, die man jederzeit wieder durch Zerlegung des Moleküls und Wägung der Spaltstücke

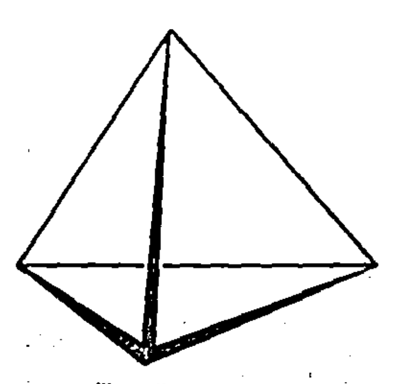
beweisen kann. Der Chemiker hat nun ganz bestimmte Vorstellungen über die Art und Weise, *wie* sich die verschiedenen Elemente zu Molekülen zusammenschließen. Und davon soll jetzt gesprochen werden.

Es ist uns schon aufgefallen, daß die Atome unter bestimmten Bedingungen ihren angestammten Platz in einer Verbindung verlassen, um sich mit einem anderen zu einem neuen Molekül zusammenzutun. Es sei nur an die Darstellung des Wassergases erinnert, bei welcher der Sauerstoff des Wassers sich lieber an den heißen Kohlenstoff band. Um dieses Verhalten zu erklären, muß man sich wohl vorstellen, daß die Bindungskraft zwischen den einzelnen Elementen verschieden groß ist, wahrscheinlich auch unter geänderten Bedingungen — zu denen erhöhte Temperatur gehört — sich in ihrer Stärke beeinflussen läßt. *Chemische Affinität* (Verwandtschaft) nennen wir dieses Bestreben der Grundstoffe, eine Verbindung miteinander einzugehen. Sie ist zwischen den einzelnen Elementen sehr verschieden stark ausgeprägt. Stickstoff und Wasserstoff können Jahrhunderte nebeneinander leben, ohne sich miteinander zu verbinden, während Sauerstoff und Wasserstoff sich schon beim geringsten Funken explosionsartig zum Wassermolekül vereinen. Wasserstoff und Sauerstoff haben eine große, Wasserstoff und Stickstoff dagegen nur eine sehr geringe Affinität zueinander. Da sich stets zwei Wasserstoffatome mit nur einem Sauerstoffatom zum Wassermolekül H_2O verbinden, ist, nach dieser Richtung hin, der Sauerstoff doppelt so viel „wert" wie der Wasserstoff. Da dem Chemiker keine einzige Verbindung bekannt ist, in welcher das Wasserstoffatom mit *mehr* als nur *einem* Atom eines anderen Elementes sich vereinigt findet, hat man seine Wertigkeit zur Grundlage genommen. Er ist somit einwertig. Dann muß der Sauerstoff, das ist aus der Wassersynthese zu folgern, zweiwertig, der Stickstoff im Ammoniak, in dem er an drei Wasserstoffatome gebunden ist, dreiwertig sein. Der Kohlenstoff dagegen ist ausschließlich vierwertig. Es wird uns nicht schwer fallen, das aus der einfachsten Kohlenwasserstoffverbindung, des uns schon bekannten Methans, in dem sich vier Wasserstoffatome an ein einziges Kohlenstoffatom gebunden finden, und dem infolgedessen die Molekularformel CH_4 zuzuschreiben ist, abzulesen. Die vier Wasserstoffatome sind vollkommen gleichwertig. Das ist für unsere späteren Untersuchungen nicht ohne Bedeutung. Wollen wir uns dieses Methanmolekül etwas verdeutlichen, so kann das nicht gut anders geschehen, als daß wir uns vorstellen, daß von einem zentral gelagerten Kohlenstoffatom sich vier völlig gleich zueinander

gelagerte Bindungen in den Raum erstrecken. Wenn wir früher bereits gebrauchte Bilder erweitern wollen, so müssen wir annehmen, daß in dem Methanmolekül von einem Kohlenstoffatom, welches zwölf mal so schwer ist wie jedes Wasserstoffatom, vier starre Arme ausgehen, an deren Enden sich je ein Wasserstoffatom befindet, wie das die untenstehende Figur veranschaulicht.

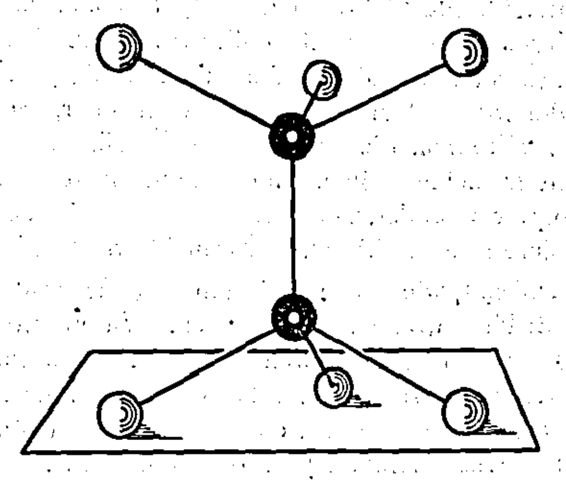


Die vier Eckpunkte bilden auch wohl die Ecken eines Vierflächners oder Tetraëders, dessen regelmäßige Gestalt unseren Vorstellungen am besten entgegenkommt. In seiner Mitte ist das Kohlenstoffatom zu denken, während die Wasserstoffatome an den vier Ecken sitzen und starr mit dem Zentralatom verbunden sind.



Tetraëder

Versucht man, dem Methanmolekül ein Wasserstoffatom zu entziehen, also etwa einen Stoff CH_3 darzustellen, so findet man, daß das unmöglich ist; vielmehr binden sich dann zwei derartige Reste aneinander. Die beiden freien Bindungen „sättigen sich gegenseitig ab", wie denn überhaupt immer das Bestreben vorhanden ist, gesättigte Stoffe, das sind Verbindungen, in denen alle freien Bindungen besetzt sind, zu erhalten, — und erzeugen somit ein ganz anderes, neues, ebenfalls jedoch nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehendes Molekül, einen „Kohlenwasserstoff", dem die Zusammensetzung C_2H_6 zukommen muß und dessen innere Struktur die Figur zu versinnbildlichen sucht.



Diese „Ketten" können gewaltige Längen annehmen, so daß in ganz großen Molekülen, wie in denen des Eiweißes oder dem der Stärke, nicht einmal die annähernd genaue Zahl der Kohlenstoffatome angegeben werden kann. Durch die Kettenbildung des Kohlenstoffs verstehen wir jetzt auch wohl, warum es so außerordentlich *viele* Kohlenstoffverbindungen gibt.

Übrigens sehen sich alle nach dem gleichen Muster gebauten Kohlenstoffverbindungen sehr ähnlich und verändern ihre Eigenschaften mit steigendem Kohlenstoffgehalt nur wenig und schrittweise. Das tritt besonders deutlich bei den Kohlenwasserstoffen zutage, deren erste Glieder gasförmig, vom Hexan an (mit „sechs" Kohlenstoffatomen im Molekül) jedoch flüssig werden, um sich bei weiterer Verlängerung der Kette schließlich zu festen Körpern zu verdichten. Diese letzten Glieder, etwa vom Hexan an, das bei rund 70° siedet, bilden in verschiedenartiger Mischung die Erdöle. Durch ihre außerordentliche chemische Ähnlichkeit ist die Trennung, selbst über ihre verschiedenen Siedepunkte, nur sehr schwer erreichbar. Bei der Destillation erhält man stets ein Gemisch mehrerer Glieder, so daß das aus Petroleum gewonnene Benzin niemals ein einheitlicher Stoff, sondern stets ein Gemenge niedrigsiedender Kohlenwasserstoffe ist. Für die Praxis spielt das keine besonders große Rolle. Sie schätzt an diesen Verbindungen vor allen Dingen den hohen Verbrennungswert, der den der Steinkohle sogar noch

übertrifft, und die gegenüber festen Brennstoffen vermehrten Verwendungsmöglichkeiten, die in der Hauptsache ihre Ursache in dem niedrigliegenden Entzündungspunkt der Benzine finden.

Wieder einmal hat sich die Wertschätzung eines Produktes geändert. Legte man früher das Hauptgewicht auf das bei mittleren Temperaturen überdestillierende Leuchtpetroleum, das jedoch jetzt in der modernen Beleuchtungstechnik kaum noch eine Rolle spielt, so sind heute vor allen Dingen die früher wenig geschätzten Benzine und die *nach* dem Leuchtpetroleum übergehenden höhersiedenden Fraktionen, die einerseits als Gasöl oder Treiböl zum Betrieb von Dieselmaschinen und Lokomotiven (Maschinen mit „Öl"feuerung) verwendet, andererseits als für die Technik unentbehrliche säurefreie Schmieröle verbraucht werden, begehrt.

Deutschland hat, wie alle zivilisierten Länder, riesigen Bedarf an diesen aus Erdöl gewonnenen Produkten. Wie konnte der Chemiker sie aus einheimischen Stoffen gewinnen? Das war die Frage, die uns jahrelang bedrückt hat. Als Rohstoff konnte natürlich nur ein Material in Frage kommen, das in reichlichem Maße zur Verfügung stand. Der Chemiker griff zur Braunkohle.

Seine Überlegungen, denen wir nach dem Vorangegangenem nun wohl zu folgen vermögen, gingen diesen Weg:

Die aus dem Zellstoffmolekül entstandene Braunkohle ist nicht einheitlich. Wir wissen jedoch, daß sie durch Spaltung des ursprünglichen Stoffes entstanden ist, wissen aber ferner auch, daß die Spaltung lange nicht beendet ist. Gegenüber den Kohlenwasserstoffmolekülen, wie wir sie für die Benzine benötigen, sind diese Spaltstücke immer noch riesengroß, weisen aber in ihrer Zusammensetzung gegenüber dem Kohlenstoff prozentual zu wenig Wasserstoff auf. Die Aufgabe war also zu lösen, daß man die mit der Braunkohle gegebenen Moleküle künstlich weiter zertrümmerte und diesen kleineren Molekülen gleichzeitig noch Wasserstoff anlagerte. Theoretisch gesehen, bedeutete das die Zertrümmerung der Kohlenstoffketten der Braunkohle. Dadurch werden an den Zertrümmerungsstellen Bindungen frei. Bei geschickter Handhabung mußten diese sich durch zugeführten Wasserstoff absättigen lassen.

Heute geschieht diese „Kohlenverflüssigung", die zum allergrößten Teile flüssige Produkte aus der Kohle durch Wasserstoffanlagerung (besser nennt man das Verfahren deswegen nach ihm Hydrierung) liefert, in riesigen Anlagen, die in nicht allzufernen Tagen unseren gesamten Bedarf decken werden.

Wiederum jedoch muß man hohe Temperaturen — 500 Grad — und gewaltige Drucke — 200 Atmosphären — zu Hilfe rufen, und wiederum muß man die Mitwirkung geeigneter Kontaktstoffe erbitten, um den ursprünglichen Kohlebrei in Benzin zu verwandeln, das dafür aber auch durchaus nicht zu unterscheiden ist von dem Naturbenzin. In leichter Abwandlung können ebenso die anderen schwereren Öle, also etwa Leuchtöl, Dieselöl und Heizöl, dargestellt werden. Die anfallenden gasförmigen Kohlenwasserstoffe finden als Treibgase für Motore hauptsächlich von Lastwagen Verwendung oder auch als Kochgas im Haushalt überall dort, wo das Legen einer Gasleitung zu kostspielig ist.

Zunächst hat man uns im Ausland verlacht als wir versuchten, unser eigenes Benzin herzustellen. Heute müssen die Besitzenden aber schon feststellen, daß der ungehemmte Abbau ihrer Lager in nicht allzu langer Zeit zur Erschöpfung führen muß. Der Weltvorrat an Kohle jedoch übertrifft die vorhandenen Erdölmengen um ein Vielfaches, so daß wir für lange, lange Zeit unserer Sorgen überhoben sein werden. Unsere Schätze an Braun- und Steinkohle betragen Hunderte von Tonnenmilliarden und reichen noch für viele Jahrhunderte aus.

Die Hochdrucksynthese, welche wir schon bei der Ammoniakgewinnung eingehend kennengelernt haben, ist hier wieder die große Helferin in der Not gewesen. Sie gestattet die Verflüssigung der Kohle auch noch auf einem anderen Wege.

Setzt man das uns hinreichend bekannte Wassergas unter dem Einfluß geeigneter Katalysatoren bei 400° einem Druck von 200 Atmosphären aus, so bindet sich ein Molekül Kohlenmonoxyd mit zwei Molekülen Wasserstoff zu einem flüssigen, brennbaren, leicht verdampfbaren Stoff, dem Methylalkohol, der in der Technik Methanol genannt wird, um Verwechslungen mit dem Trinkalkohol unmöglich zu machen. Große Mengen werden unseren Treibstoffen zugesetzt (Spritbeimischungszwang). Aus Methanol lassen sich eine ganze Reihe von anderen Stoffen darstellen; es ist z. B. Ausgangsstoff für die Herstellung von Formaldehyd und damit auch ein Grundstoff für Kunstharze.

Gewöhnlicher und amtlicher Sprachgebrauch zeigen jedoch, daß der „Sprit", in unserem Falle das Methanol, nur als Beimischung des Benzins gedacht ist. Benzin ist eben die Seele des modernen Motors und damit wohl auch die manches modernen Menschen. Und da wollen wir froh sein, daß wir außer der Hydriermethode noch ein weiteres elegantes Verfahren zweier deutscher Chemiker haben, die nun gerade den umgekehrten Weg gehen, wie ihn der

Deutsche Bergius eingeschlagen hat. Fischer und Tropsch zwingen *kleine* Moleküle dazu, sich zu *großen* zu vereinigen, während Bergius ja gerade die *großen* Braunkohlenmoleküle zu den *kleineren* des Benzins zerschlug. Jedesmal wird aber dabei auf die Kohle zurückgegriffen. Fischers und Tropschs Ausgangsmaterial ist das gleiche wie das zur Methanolbereitung, nämlich Wassergas, das seinerseits ja leicht aus Koks und Wasserdampf herzustellen ist. Bei ganz gewöhnlichem Druck und bei nur 200° gelingt es unter Benutzung besonderer Metall- und Metalloxydmischungen als Katalysatoren, Kohlenmonoxyd und Wasserstoff dieses Mal zu Benzin, Dieselöl und Paraffinöl in Bindung zu zwingen.

Die Suche nach geeigneten Katalysatoren war natürlich nicht einfach. Aber wie durch unerwartete Kleinigkeiten ein chemischer Prozeß, der bis in die feinsten Einzelheiten durchgearbeitet worden ist, im Großbetrieb gefährdet sein kann, möge hier einmal gekennzeichnet werden.

Gegenüber der Hochdruckhydrierung der I. G. Farbenindustrie A. G. besitzt das Fischer-Tropschverfahren den großen Vorzug, daß es die Benzinsynthese ohne Druckanwendung vollzieht. *Nun* machte dafür die Steuerung der Temperatur, die sich bei 200° in durchaus erträglichen Grenzen hält, die allergrößten Schwierigkeiten! Bei Überschreitung bestimmter Hitzegrade scheidet sich nämlich das gebildete Paraffin auf dem Katalysator ab und verurteilt diesen, der ja lediglich durch seine große Oberfläche wirkt, zur Untätigkeit. Man hat heute gelernt, die Temperatur zu beherrschen. Was sich leichter schreiben und aussprechen als in die Tat umsetzen läßt.

Der große Vorteil dieses Verfahrens ist darin zu sehen, daß als Ausgangsstoff nur Koks gebraucht wird, Koks, dem schon einmal als Stein- und Braunkohle wichtige flüssige Brennstoffe entzogen worden sind und der jetzt erneut zur Benzingewinnung eingesetzt werden kann. Erfreulich ist auch die Beweglichkeit des Verfahrens. Durch Veränderungen der Katalysatoren und der Betriebsbedingungen ist es möglich, daß der Benzinanteil zwischen 25 und 65 %, der Paraffinanteil zwischen 10 und 50% wechseln kann. Damit kann der Betrieb den gewünschten Erfordernissen angepaßt werden. Die Herstellung sehr reiner, höhersiedender Paraffine macht dieses Verfahren als Rohstofflieferant für die Fettsäuresynthese besonders geeignet.

5.

Wenn wir rückwärtsschauend noch einmal die uns nunmehr bekannten chemischen Prozesse überblicken, so finden wir, daß das

Element Wasserstoff sehr stark an allen Umsetzungen beteiligt ist. Gegenüber früheren Zeiten bedeutet das eine erhebliche Überraschung. Im Wassergas, bei der Ammoniak- ebenso wie bei der Benzinbereitung, bei der Gewinnung von Methanol gleicherweise wie bei manch anderem Prozeß, über den noch zu berichten sein wird, — überall wird Wasserstoff verwendet. Die Mengen, die man von ihm verbraucht, sind riesengroß. Allein die deutschen Stickstoffwerke verarbeiten *stündlich* eine Million Kubikmeter von ihm. Ich weiß nicht, ob der Leser sich eine wirklich richtige Vorstellung von dieser gewaltigen Gasfülle machen kann? „Ein Kubikmeter" spricht sich leicht aus, aber häufig unterschätzt man seine Größe doch beträchtlich. Der monatliche Verbrauch von nur 30 Kubikmetern Heizgas im Gasofen, also täglich von nur einem Kubikmeter, reicht bequem aus, um einen mehrköpfigen Haushalt zu versorgen. Eine normale Badewanne faßt höchstens einen halben Kubikmeter Wasser! Vielleicht läßt sich nach diesen Vergleichen die staunenswerte Zahl von 1 000 000 cbm je Stunde besser abschätzen?! — Vermutlich verstärkt unsere Bewunderung noch die Mitteilung der I. G. Farbenindustrie, daß bei ihr die Leunawerke allein einen Wasserverbrauch haben, der so groß ist wie derjenige der Reichshauptstadt, und daß die täglich dort erzeugte Gasmenge für Groß-Berlin acht Tage reichen würde!

Wenn so das Element Wasserstoff eine früher kaum geahnte Bedeutung erlangt hat, so verlohnt es sich, zumal der Titel dieses Buches dazu verpflichtet, sich noch einmal dieses winzige Molekül etwas genauer anzusehen.

Zunächst ist man leicht geneigt anzunehmen, daß die kleinsten in der Natur vorkommenden Teilchen von Elementen Atome sein müßten. Bei den gasförmigen Grundstoffen ist das zweifellos nicht der Fall. Schon beim Stickstoff wurde, allerdings ohne nähere Begründung, darauf hingewiesen, daß dieses Element als Molekül, in dem sich immer zwei Atome zusammengeschlossen finden, vorkommt. Die Arbeit, die nötig ist, den Stickstoff an andere Elemente zu binden, sollte dann hauptsächlich darin bestehen, daß das träge Stickstoffmolekül in zwei sehr aktive Stickstoffatome aufgespalten würde. Das gleiche gilt auch für Wasserstoff, wie denn überhaupt für fast alle elementaren Gase.

Nach früher Gesagtem wird uns das verständlich sein. Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und viele andere Elementargase sind in Atomform nämlich nicht beständig, weil sie freie Bindungen enthalten. Freie Bindungen suchen sich nun aber stets abzusättigen. Das berühmteste Beispiel dafür ist das Kohlenmonoxyd, das nicht

etwa zweiwertigen Kohlenstoff (Sauerstoff ist ja, das haben wir früher am Wassermolekül festgestellt, zweiwertig), sondern noch zwei *freie* Bindungen enthält, die es unbedingt zu besetzen sucht. Bildlich ließe sich das etwa wie nebenstehend andeuten: = C = O. Bei der Besetzung dieser freien Bindungen geht das Kohlenmonoxyd sehr rücksichtslos vor! Es schreckt z. B. keineswegs davor zurück, anderen sauerstoffhaltigen Molekülen den Sauerstoff zu entreißen und so den Gegner zu zerstören. Kampf der Moleküle! Der Mensch hat es gelernt, auch diesen Streit technisch für sich und seine Bedürfnisse einzuspannen. Dessen sind die Hochöfen, in denen dem Eisenerz der Sauerstoff entzogen wird, um metallisches Eisen zu gewinnen, Zeuge. Allerdings findet auch die Giftigkeit des CO seine hauptsächlichste Erklärung durch seine Ungesättigtkeit.

Wenn freie Bindungen nun mit einer derartigen Kraft nach Absättigung verlangen, so wird auch verständlich, daß freie Atome außerordentlich selten sind und, wenn sie wirklich einmal vorkommen, sich sehr angriffslustig gebärden. Finden sie keine anderen Stoffe, die sie zersetzen können, so binden sie sich untereinander zu je zwei und zwei Atomen zu Molekülen, die demnach nur aus dem gleichen Element bestehen. Der einwertige Wasserstoff sieht demnach so, H—H, aus; abgekürzt müßte man also für das Molekül H_2 schreiben. Jetzt verstehen wir auch endlich, warum das Molekül etwa des Stickstoffs sich so ganz anders verhält als das Stickstoffatom. Das Molekül ist nämlich eine gesättigte Verbindung N≡N, das gar keine Ursache hat, sich weiter zu betätigen und infolgedessen chemisch außerordentlich träge ist. Gelingt es jedoch, die beiden Atome voneinander loszureißen, so äußern sie jetzt ihre freien Bindungen mit großer Gewalt. Die frühere Trägheit ist einer starken Aktivität gewichen, die wir z. B. in der Technik ausgenutzt haben, um Wasserstoff an den Stickstoff zu Ammoniak zu binden. So klein der Gegner auch ist, so wenig sind die Energien zu unterschätzen, die das Molekül den zerreißenden Kräften der Technik entgegenzusetzen hat. Davon zeugen die gewaltigen Apparaturen unserer Fabriken, in denen hohe Temperaturen und große Drucke diese Arbeit zu leisten haben.

Es darf nach all diesen Erklärungen nicht verschwiegen werden, daß es auch Ausnahmen unter den Gasmolekülen gibt. Das normale Sauerstoffmolekül ist, ebenso wie Wasserstoff und Stickstoff, zweiatomig. Daneben ist jedoch eine andere Form, das Ozon, bekannt, dessen Molekül aus drei Atomen besteht. Es wird uns nach unseren Untersuchungen wohl aber nicht mehr wundern, daß dieses Atom sehr leicht abgegeben wird und vom Ozon, eben durch dieses

Sauerstoffatom, eine außerordentlich verstärkte Wirkung ausgeht. — Im Gegensatz dazu gibt es allerdings auch Atome, die so faul sind, daß sie sich überhaupt nicht mit anderen Elementen, nicht einmal mit sich selbt, verbinden. Hier bestehen die kleinsten Teilchen ausnahmsweise einmal wirklich aus Atomen. Wir müssen annehmen, daß sie überhaupt keine Wertigkeit besitzen oder äußern. Sie verhalten sich infolgedessen vollkommen indifferent und werden dieses Verhaltens wegen, das dem der „Edel"metalle (die sich auch mit anderen Stoffen nur schwer verbinden) sehr ähnelt, Edelgase genannt. Die Indifferenz des Heliums, das sich als leichtes Gas wegen dieser Eigenschaften als ideale Füllung für unsere Luftschiffe eignen würde, ist allgemein bekannt geworden. Leider besitzen wir es nicht in hinreichender Menge. U. S. A. ist wieder einmal mehr glücklicher Besitzer dieses immerhin selten vorkommenden Stoffes. Es weigert sich, uns davon zu verkaufen. Und *dieses* Mal sitzt der Schlag. Helium kann auch der Chemiker nicht schaffen. Er kann wohl Moleküle verändern, sie trennen, sie zusammenfügen; er kann auch manches Molekül, das die Natur geschaffen hat, bis in die feinsten Verästelungen mit Hilfe der Grundstoffe nachahmen —; aber Grundstoffe selbst kann er nicht nachbilden. Immerhin können wir den Vereinigten Staaten dankbar sein für den Anschauungsunterricht, den sie uns erteilen. Es wird uns ein Ansporn sein, mehr noch als bisher auf Gebieten, die lösbare Aufgaben aufweisen, uns unabhängig von fremdem Willen zu machen.

Das möge an dieser Stelle, als an einem Beispiel für viele, sofort noch einmal gezeigt werden.

Es ist kein Geheimnis, das wir hier lüften, wenn gesagt wird, daß bei der Eigenversorgung in Nahrungsmitteln uns die Fettbeschaffung die größte Schwierigkeit bereitet. Hier stehen wir jedoch nicht alleine. Überraschung wird es aber vielleicht bereiten, wenn mitgeteilt wird, daß die überall bekannte Margarine zunächst und schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts auf eine Anregung Napoleons des Dritten hin in *Frankreich* hergestellt wurde; 1871 wurde die erste Fabrik in Paris errichtet.

Die Margarine ist ein Kunstprodukt und war als Ersatz für Butter gedacht, deren Eigenschaften sie möglichst weitgehend zu erreichen sucht. Die Butter ist nun einmal dasjenige Fett, das dem menschlichen Gaumen am meisten zusagt. Niemals wird jedoch die Margarine alle Eigenschaften der Butter, vor allem nicht deren Geschmack erreichen können. Das wird schon aus der Bereitung ersichtlich. Sie wird also immer das bleiben müssen, was des Volkes Stimme mit „Ersatz" bezeichnet. Über die Frage der Ersatz-

stoffe wird späterhin noch im Zusammenhang zu sprechen sein; hier möge sie nur kurz gestreift worden sein.

Margarine wird aus pflanzlichen und tierischen Fetten rein physikalisch in einem Verhältnis gemischt, daß das Gemenge so weich wie Butter ist. Um es dieser noch ähnlicher zu machen, wird sie sorgfältig mit Magermilch durchgearbeitet und mit Zusätzen wie Milchrahm, Eigelb und Salz versehen. Vorweg muß schon gesagt werden, daß Margarine den gleichen, teilweise sogar einen größeren Nährwert als Butter besitzt. Was wir an ihr vermissen, ist, neben dem geringeren Vitamingehalt, der gegenüber der Butter veränderte Geschmack und die beim Kochen und Braten abweichenden physikalischen Eigenschaften.

Wenn wir uns in Deutschland einmal umsehen nach für die Margarineindustrie geeigneten Fetten, so müssen wir leider auch hier feststellen, daß wir sowohl an tierischen als auch an pflanzlichen Fetten und Ölen nicht reich bedacht worden sind. In früheren Zeiten kauften wir den Nordamerikanern ihr Preßschmalz aus den Chikagoer Schweineschlächtereien und den Südamerikanern den Talg ihrer Rinder ab. Dazu brachten uns pflanzliches, hartes Fett die Kokospalmen unserer eigenen Kolonien. Heute müssen wir aus den verschiedensten Gründen auf diese Fette verzichten. Die geringen Ölmengen, die in Deutschland selbst aus Rüb- und Leinsaat etwa gewonnen werden und die den Bedarf der Industrie nicht im entferntesten befriedigen können, sind noch dazu dünnflüssig. Es fehlen die festen Fette, um dem Mischprodukt Margarine die gewünschte Konsistenz zu verleihen.

Hier kann nun aber wieder einmal mehr der Chemiker helfend eingreifen: Er *härtet* das Fett. Das ist nicht einfach eine physikalische Änderung, die etwa dem Festwerden des Wassers beim Gefrierpunkt entspricht, sondern ein chemischer Eingriff, der den Ausgangsstoff weitgehend verändert.

Fette bestehen in der Hauptsache aus drei verschiedenen organischen Säuren, die sich alle gleicherweise mit demselben Gefährten, dem Glyzerin, zu Verbindungen zusammengeschlossen haben. Diese Säuren, die in ihrem äußersten Verhalten den Glyzerinverbindungen sehr ähnlich sind, heißen Palmitin-, Stearin- und Ölsäure. Die beiden ersten sind hart und fest. Deutlich ist das an der Stearinkerze, die aus der Stearinsäure verfertigt ist, zu sehen. Die Ölsäure ist, ebenso wie ihre Glyzerinverbindung, das Öl, schmierig-flüssig.

Leider bezeichnen wir sehr verschiedene Produkte mit „Öl". Erdöl ist etwas anderes als Olivenöl. Einen Salat wird die Hausfrau

nicht mit Petr„oleum" ansetzen, und ein Überseedampfer wird seine Kessel nicht mit Baumwoll„öl" heizen. Von den Speiseölen ausgehend, hat man rein äußerlich die auffallendste physikalische Eigenschaft — das schmierige, eben „ölige" Verhalten — zur Bezeichnung für chemisch ganz anders geartete Stoffe benutzt. Sie waren damit auch „Öle". Was den Chemiker erbost, er aber nicht zu ändern vermag.

Die Ölsäure unterscheidet sich chemisch von ihren beiden fettigen Begleitern, der Palmitin- und der Stearinsäure. Sie ist, im Gegensatz zu diesen, ungesättigt. Zwei Wasserstoffatome vermag die Ölsäure noch aufzunehmen. Zwingt man sie dazu, dann geht sie in die — Stearinsäure über; die im Fett enthaltene Glyzerinverbindung natürlich in die entsprechende — harte — Stearinverbindung.

Die Stearinsäure hat die Zusammensetzung $C_{17}H_{35}COOH$. (Immer hebt der Chemiker die Besonderheit einer Verbindung, wie hier die die Säuren kennzeichnende einwertige Karboxylgruppe — COO H, hervor.) Die Ölsäure hat dagegen die Formel $C_{17}H_{33}COOH$. Sie ist somit eine ungesättigte Verbindung, da ihr zwei Wasserstoffatome fehlen. Gelänge es, ihr diese anzulagern, so müßte daraus die harte, feste Stearinsäure werden. Der Chemiker hat schon schwerere Aufgaben als diese gelöst, zumal ungesättigte Moleküle immer, wenn auch verschieden kräftig, das Bestreben haben, freie Bindungen zu besetzen. Meistens sind sie infolgedessen sehr umsetzungsfähig. Wenn die Ölsäure und ihre Glyzerinverbindung nun auch nicht zu den reaktionsfähigsten Molekülen gehört, so ist es doch nicht allzu schwierig, zwei Wasserstoffatome anzulagern. Bei Gegenwart von fein verteiltem Nickel als Katalysator ist technisch die Aufgabe zu lösen. Für Deutschland ist das außerordentlich wichtig. Denn auf diese Art können wir die im eigenen Lande erzeugten Öle, die in der Hauptsache die Glyzerinverbindung der Ölsäure enthalten, in für die Margarinefabrikation benötigte harte Fette — hauptsächlich die Glyzerinverbindung der Stearinsäure — überführen.

Die Fetthärtung ist eine deutsche Erfindung. Aber deswegen reichen die auf eigener Scholle erzeugten Fette und Öle — einerlei ob pflanzlicher oder tierischer Art — doch bei weitem nicht aus, um die zur Ernährung nötigen Mengen zu stellen. Vielleicht ist es nicht unnütz mitzuteilen, daß Deutschland sowohl der größte Fettkonsument als auch — Produzent ist! Schon vor dem Weltkriege mußte deswegen Fett zugekauft werden. Eine verhältnismäßig billige Quelle dafür war der Waltran, der bei der *chemischen*

Änderung durch die Wasserstoffanlagerung natürlich — muß das wirklich noch erwähnt werden? — ein ganz anderes, gehärtetes Fett liefert. Wenn Deutschland jetzt seine eigene Walfängerflotte sich schafft, so bedeutet das somit nur für den Nichtfachmann, der womöglich glaubt, daß der Walfischtran ohne jede Veränderung der Margarine beigemischt wird, etwas Neues. Nein, neu ist nur, daß wir jetzt *selber* die Versorgung in die Hand genommen haben, und neu ist auch, daß jetzt jeder weiß, daß Walfischtran Ausgangsmaterial für die Margarinefabrikation ist. Es hat sich somit gegenüber früher grundsätzlich nichts geändert, am wenigsten die Margarine.

Schon seit vielen, vielen Jahren — die ersten Versuche gehen bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück — ist der Chemiker bemüht, sich bei der Fettbeschaffung ganz frei zu machen von dem natürlichen Vorkommen, das ja immer an Tier oder Pflanze gebunden ist. Wenn wenigstens erst einmal erreicht wird, daß technische Produkte, wie etwa die Seife, sich mit synthetischen Fettsäuren darstellen lassen, würden rund 15 % des Gesamtfettbedarfs für Nahrungszwecke frei. Das wäre ein schöner Anfang.

Die Lösung der Aufgabe ist nicht mehr fern. Wer sie gefunden hat, möchten Sie gerne wissen? Ich wage es gar nicht mehr zu schreiben, aber wer könnte es denn anders gewesen sein als der *deutsche* Chemiker! Ob die „Anderen" denn immer noch nicht merken, daß unsere Bedrängnis, an der sie ja nicht ganz schuldlos sind, unser bester Lehrmeister ist? Nur beim Helium nutzt alle Kunst nichts! Wenn aber die Fetthärtung ein kleiner Teil der „chemischen" Rache ist, so möge hier noch der zweite, vervollständigende folgen.

Niemand wird wohl erwarten, daß der moderne Chemiker glaubt, daß ihm der blinde Zufall beim wilden Herumexperimentieren vielleicht einmal in seinem Umsetzungsgefäß Fette bescherte. Bei Gott ist zwar kein Ding unmöglich, aber der Chemiker ruft doch lieber erst einmal die Theorie zu Hilfe, die ihm vielleicht ebensoviel vom göttlichen Wesen enthüllt. Da findet er nun Stoffe, die, wenn sie nur geringfügigen Änderungen unterworfen werden, Fettsäuren liefern könnten, die zur Seifenbereitung völlig genügen. Wir kennen diese Moleküle. Es sind die Kohlenwasserstoffe mit 15 und mehr Kohlenstoffatomen im Molekül. Sie lassen sich als Ausgangsmaterial, auch das wissen wir nun, aus Kohle und Wasserstoff durch die Benzinsynthese (Kohleverflüssigung) darstellen. Sieht man sich diese höheren Kohlenwasserstoffe näher an, so ist festzustellen, daß nur eine der endständigen einwertigen —CH_3-

gruppen in die gleicherweise einwertige Karboxylgruppe überzuführen ist, wenn eine Säure daraus gemacht werden soll:

1. $CH_3—(CH_2)_{14}—CH_3 = C_{16}H_{34}$ = Kohlenwasserstoff mit 16 Kohlenstoffatomen in
   $CH_3—(CH_2)_{14}—CO(OH) = C_{15}H_{31}CO(OH)$ = Palmitinsäure; oder
2. $CH_3—(CH_2)_{16}—CH_3 = C_{18}H_{38}$ = Kohlenwasserstoff mit 18 Kohlenstoffatomen in
   $CH_3—(CH_2)_{16}—CO(OH) = C_{17}H_{35}CO(OH)$ = Stearinsäure.

Wie man deutlich sieht, ist der erste, bei weitem größere Teil des Moleküls, im Kohlenwasserstoff und in der dazugehörigen Säure völlig gleich beschaffen. Nur die geringfügige Änderung am letzten Atom macht die Verschiedenheit der beiden Stoffarten aus. Absolut klar ist auch, daß, wenn der Kohlenwasserstoff zur Säure werden soll, das Element Sauerstoff, welches dem Kohlenwasserstoff ja fehlt, zu Hilfe gerufen werden muß. Das alles sagt die Theorie, die uns damit einen Weg zu weisen vermag.

Praktisch ist damit die Frage aber leider noch nicht gelöst. Die sich über fast hundert Jahre erstreckenden Versuche können vielleicht einen Begriff davon geben, wie schwierig trotz aller Erkenntnisse der gangbare Weg zu finden war. Heute haben wir den geeigneten Katalysator gefunden, um in den Kohlenwasserstoffen die Sauerstoffaufnahme zu erzwingen. Seit 1936 werden auf diese Weise Fettsäuren hergestellt; es wird nicht lange mehr dauern, bis wir tierisches und pflanzliches Fett, aus dem wir nur die freien Säuren benötigen, für technische Zwecke völlig entbehren können.

Die Chemie hat wieder einmal, das wird wohl niemand bestreiten wollen, einen ganz großen Erfolg errungen. Der Chemiker ist mit diesem aber noch keineswegs zufrieden. Er will das Fett selbst, nicht nur die in ihm enthaltenen Säuren schaffen. Theoretisch ist die Lösung höchst einfach.

Bringt man Fettsäuren, zu denen auch die Ameisen- und Essigsäure gehören, mit Alkoholen und wasserentziehenden Mitteln zusammen, so verbinden sich die beiden Moleküle unter Wasserabspaltung zu Estern, die in ihren niederen Gliedern einen angenehmen fruchtartigen Geruch ausströmen. Sie ähneln zwar in ihrer chemischen Struktur nicht im geringsten den natürlichen in den Früchten vorkommenden Duftstoffen, dienen aber als Ersatzstoffe dem Süßigkeitsfabrikanten zum geschmacklichen Verschönern seiner Produkte, vor allen Dingen bei den „Frucht"bonbons. Die

Fette sind nun ebenfalls Ester. Der ganze Unterschied gegenüber den Fruchtestern besteht darin, daß in ihnen höhermolekulare Fettsäuren mit Glyzerin, das im chemischen Sinne auch ein Alkohol ist, vereinigt sind. *Hat* man Fettsäuren und Glyzerin, so ist die Darstellung von Fett eine Kleinigkeit. Wie steht es aber mit dem Glyzerin? Die Hauptquelle für seine Darstellung sind bisher die Fette gewesen, aus denen es durch Aufspaltung gewonnen wurde, wenn man Kerzen oder Seife darstellen wollte. Das so aus *natürlichen* Fetten gewonnene Glyzerin können wir aber unmöglich zur synthetischen Fettbereitung benutzen. Das hieße denn doch mit Unvernunft Handel treiben. Wenn wir die Fettsynthese wollen, dann müssen wir auch das Glycerin selber schaffen.

Wie weit die Chemie dabei in ihrer Arbeit fortgeschritten ist, weiß ich nicht genau. Vielleicht kann eine spätere Ausgabe dieses Buches schon nähere Auskunft darüber geben. Ich weiß nur, daß es schon im Weltkriege ein biologisches Verfahren gab, nach dem Glyzerin durch besonders geartete Vergärung des Zuckers gewonnen wurde. Zwar wollte man damals keine Fette darstellen, aber die Gewinnung des Glyzerins, das zu Nitroglyzerin und Dynamit verarbeitet wurde, ließ wenigstens einen geringen Teil des Fettes für die menschliche Ernährung übrig.

Ich weiß ferner, daß heute schon Fette aus Glyzerin und Fettsäuren dargestellt werden, was eine wesentliche Schonung unserer Speisefette bedeutet.

Ich weiß weiter noch, daß, falls die Gewinnung des Glyzerins über die Holzzuckervergärung zu umständlich und zu teuer werden sollte, vielversprechende Versuche laufen, um aus einem niederen Kohlenwasserstoffe, dem Propan, durch Oxydation das Glyzerin zu gewinnen. Propan ist uns schon als Abfallsprodukt bei der Kohleverflüssigung bekannt geworden. Gelingt die Glyzerinsynthese auf diesem Wege, so können wir unseren Fettbedarf aus Eigenem, aus unseren Kohlelagern, decken, da ja auch die Fettsäuren den gleichen Rohstoff zu ihrem Aufbau benötigen. Es ist nicht daran zu zweifeln, daß deutsche Chemiker die ihnen gestellte Aufgabe lösen und uns dadurch einen Riesenschritt weiter führen werden in unserer Unabhängigkeit vom fremden Willen.

Eines aber weiß ich auch — das ist nötig zu sagen, um allzu großem Optimismus vorzubeugen —, Butter wird wegen seiner besonderen geschmacklichen Art immer ein von dem Menschen besonders bevorzugtes Fett bleiben. Wir sind natürlich bestrebt, jedes Kunstprodukt diesem unserem Ideal möglichst anzugleichen. Dazu müßten wir dann allerdings auch noch den in der Butter enthaltenen Glyzerinester der *Buttersäure* darstellen; — was vielleicht aber auch gar nicht einmal so schwer ist, da es nichts grundsätzlich Verschiedenes gegenüber der sonstigen Fettbereitung ist. Heute gibt die Kunstspeisefettindustrie diesen Ester durch Milchzusatz hinzu. Es darf dabei aber nicht unerwähnt bleiben, daß dadurch die Haltbarkeit der Margarine, wie auch der Butter, verringert wird, da der Ester sich durch Wasser, das ja stets in unseren Speisefetten enthalten ist, bei erhöhter Temperatur leicht zersetzt, und die dabei freiwerdende Buttersäure unserer Nase anzeigt, daß das Fett „ranzig" geworden ist. Margarine, die ohne Milchzusatz bereitet wurde, hält sich bedeutend länger, da die Ester der höheren Fettsäuren sich viel schwerer zersetzen. Außerdem riechen die freiwerdenden Säuren nicht. Somit ist dieses Kunstspeisefett gegenüber der Butter haltbarer.

Auch die Vorzüge von Ersatzstoffen sollte man stets erwähnen.

4. Teil.

Ersatz

1.

In den vorhergehenden Seiten ist bereits mehrfach das Wort „Ersatz" gefallen. Ich hatte mir eigentlich vorgenommen, erst später, etwa in einem besonderen abschließenden Kapitel, die Frage der Ersatzstoffe im Zusammenhange zu besprechen. Beim Durchblättern des bisher Geschriebenen muß ich jedoch feststellen, daß es jetzt, just an dieser Stelle, höchste Zeit wird, sich einmal etwas näher mit der „Ersatzfrage" zu beschäftigen, von der jedermann spricht, — leider jedoch die meisten, ohne daß sie besondere Kenntnisse oder auch wohl nur Verständnis für diese hochaktuelle Angelegenheit besäßen. Aber dann läßt sich ja bekanntlich am besten darüber sprechen! Noch dazu, wenn man sich über die Begriffsbestimmung „Ersatz" nicht einmal klar ist, alles Mögliche und Unmögliche darunter versteht und so dann schön aneinander vorbeireden kann.

Zuzugeben ist, daß das Wort Ersatz aus dem Weltkriege her einen bösen, bitterbösen Klang für die ältere Generation besitzt. Ich gehöre Gottlob nicht zu den Leuten, die ausgerechnet immer

das Schlimme und Häßliche im Gedächtnis behalten; ich finde es im Gegenteil viel besser und erfreulicher, das Gute in unserem so kurzen Leben aufzusuchen und zu bewahren. Aber leider scheint die gegensätzliche Menschenkategorie stark zu überwiegen. Und deswegen wird das bedenkliche Stirnrunzeln, das sich, sowie das Wörtchen „Ersatz" ertönt, einstellt, so bald auch nicht verschwinden.

Unter Ersatz stellt sich die Mehrzahl im allgemeinen immer etwas Schlechteres als das ursprüngliche, durch die Nachahmung Angestrebte vor. Schon das ist ein Irrtum.

Wissen Sie eigentlich, warum die französischen Soldaten vor dem Weltkriege rote Hosen, die übrigens wunderhübsch aussahen, trugen?

Weil Napoleon seinen südfranzösischen Weinbauern helfen wollte.

Das verstehen Sie nicht? Nun, dann will ich Ihnen die kleine Geschichte erzählen, weil sie mit „Ersatz" endet.

Der französische Rotwein ist gut. Daran ist gar nicht zu zweifeln. Er ist in den Weinbaugegenden auch sehr billig. Was kein Nachteil für Rotweintrinker ist. Die Rebe ist als hochkultiviertes Gewächs aber sehr empfindlich. Und so kann es vorkommen, daß Schädlingsbefall oder ein einziger Frost, der selbst in Südfrankreich nicht allzu selten ist, ganze Ernten vernichten. Auch das Gegenteil, allzu reiche Erträge, sind nicht immer erwünscht. Treten sie mehrere Jahre hintereinander auf, so kann das, jedenfalls in der „freien" Wirtschaft, ebensogut zu Katastrophen führen. Schließlich kann man ja selbst in Frankreich nicht von morgens bis abends nur Rotwein trinken. Ich weiß nun wirklich nicht mehr, ob Mißernten oder allzu gute Ernten den Weinbauern zu schaffen machten. Eines steht jedenfalls fest: Sie kamen in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts nicht mehr auf ihre Rechnung. Sie brauchten Hilfe, wenn sie nicht verhungern wollten. Wenn man aus eigener Kraft nicht mehr weiter kommt, wendet man sich an den Staat. Der funkelnagelneue Kaiser mußte helfen. Auf zu Napoleon dem Dritten nach Paris!

Napoleon der Dritte war zwar eitel, aber er war kein Dummkopf. Nein, das war er ganz bestimmt nicht, wie auch sein späteres Eintreten für die Errichtung von Margarinefabriken bewies.

Napoleon und seine Minister also dachten nach, wie sie ihren unglücklichen Weinbauern helfen konnten. Und empfahlen schließlich, die Weinstöcke herauszureißen und dafür die Krapp-Pflanze zu kultivieren. Aus deren Wurzeln läßt sich nämlich ein wundervoller, knallroter Farbstoff gewinnen, der recht begehrt und gut verkäuflich ist. Die Weinbauern taten, was ihr Kaiser ihnen anriet.

Ausgerechnet zu dieser Zeit arbeiteten, das konnte der kluge Napoleon nun wirklich nicht wissen, zwei verd. . . . . deutsche Chemiker daran, diesen Pflanzenfarbstoff im chemischen Laboratorium auf künstlichem Wege herzustellen. Die innere Struktur des Moleküls, das die Pflanze so kunstvoll aufbaut, wurde in gewissenhafter und noch heute Bewunderung erregender Art 1868 erforscht. Die Synthese schien allerdings nicht ganz einfach. Die Moleküle, die man zu diesem Zweck zur Umsetzung zwingen wollte, wehrten sich entsetzlich. Man kann verstehen, daß der Mensch infolgedessen immer härtere und schärfere Mittel anwandte, um in diesem Kampf mit den Molekülen Sieger zu bleiben. Die Geschichte des endlichen Sieges ist ein kleines Drama für sich. Der Erfolg ist eigentlich einem schlafenden Laborationumsgehilfen zu verdanken. Aber damit finden wir uns mitten in einer zweiten kleinen Erzählung. Da diese mindestens ebenso hübsch ist wie die erste, möge auch sie, bevor wir zu den rot behosten Franzosen zurückkehren, hier Platz finden.

Die Moleküle *wollten* sich also nicht verbinden. Sie wurden miteinander eingesperrt. Sie taten sich nichts. Sie wurden gemeinsam erhitzt. Wenn Moleküle lächeln können, lächelten sie. Man stopfte sie in ein dickwandiges, eisernes Rohr, so daß auch noch der beim Erwärmen auftretende Druck zu Hilfe gebeten wurde. Ganz systematisch, immer höher erhitzend, wurde gearbeitet. Zur Beobachtung der Temperatur wurde ein Quecksilberthermometer in das Rohr einmontiert. Dann wurde wieder stundenlang erwärmt.

Geduld muß man zwar als Chemiker haben können, obwohl es zuweilen recht schwer fällt, aber schließlich kann man nicht Tag und Nacht neben dem gleichen Apparat sitzen und lediglich darauf achten, daß die Temperatur die gleiche Höhe hält. Dazu sind auch Leute imstande, die nicht Chemie studiert haben.

In jedem Universitätslaboratorium gibt es den Laboratoriumsgehilfen. Es ist selbstverständlich, daß *er* sich für die Seele des ganzen Betriebes hält. Er weiß und kann auch meistenteils sehr viel und ist damit für Anfänger eine nicht zu unterschätzende Hilfe. Seine Zuverlässigkeit in der Erledigung von gestellten Aufgaben ist über allem Zweifel erhaben. Natürlich gibt es auch Ausnahmen unter diesen edlen Menschen, und zu diesen scheint der Gehilfe Graebes und seines Mitarbeiters gehört zu haben. Fest steht jedenfalls, daß, als die beiden Chemiker am frühen Morgen

ihren Kanonenofen öffnen wollten, der auftragsgemäß in der Nacht auf einer ganz bestimmten Temperatur gehalten und durch Laboratoriumsgehilfen während dieser Zeit kontrolliert werden sollte, dem Thermometer der Quecksilberfaden fehlte. Es war geplatzt. Der Apparat mußte also zu hoch erhitzt worden sein. Und das Quecksilber war zu den widerspenstigen Molekülen in das Rohr geflossen!

Im Leben jedes einzelnen gibt es unerquickliche Situationen, an die man sich nur ungern erinnert. Ich glaube, daß der unaufmerksame Laboratoriumsdiener in diesem Augenblick eine solche erwischt hatte. Alles verdorben! Die Arbeit von Tagen zerstört!! Wer wollte da ruhig bleiben!!!

Der Apparat mußte jedenfalls geleert und neu beschickt, der Versuch noch einmal bei den gleichen Bedingungen wiederholt werden. Der Laboratoriumsdiener schwor zehn heilige Eide, in den nächsten Nächten seine Pflicht eifriger zu tun. (So stelle ich mir das jedenfalls vor.) Er brauchte nicht meineidig zu werden. Denn als man das Rohr öffnete — fand man darin das gesuchte Krapprot, chemisch Alizarin benamst.

Wir wissen heute, daß der Laboratoriumsgehilfe durch seinen Schlaf dem Quecksilber den Weg zu den Molekülen frei gemacht und damit einen geeigneten Katalysator dazugegeben hat, der die Vereinigung veranlaßte. Zu der damaligen Zeit kannte man noch fast gar nichts von der Wirkung derartiger Kontaktstoffe, so daß der Erfolg um so überraschender war. Ein Zufallstreffer! Es soll erwähnt werden, weil derartige Erfolge außerodentlich selten sind. Allerdings bedeutet dieser Zufallstreffer nur das allerletzte i-Tipfelchen der Synthese, da ja die Ausgangsstoffe nicht etwa beliebig, sondern gemäß den theoretischen Kenntnissen gewählt worden waren. Es fehlte nur der letzte Anstoß, um die Moleküle zur Umsetzung zu veranlassen. Deswegen gebührt auch dem Chemiker das Verdienst für die wunderhübsche Arbeit und nicht etwa dem Laboratoriumsdiener.

Und nun zurück zur ersten Erzählung, zu Napoleon III. und seinen Weinbauern. Die ernteten Krappwurzeln. Um Krapprot daraus zu machen. Das konnten die beiden deutschen Chemiker aber nun viel billiger, besser und reiner darstellen. So daß die Franzosen nicht konkurrenzfähig waren und ihr Krapprot nicht los wurden. Und einmal mehr ihren Kaiser besuchten, um ihm in wenig freundlichen Worten für seinen guten Rat zu danken. Was

sollte denn mit diesen unverkäuflichen Mengen begonnen werden? Und was sollte nun zukünftig geschehen?

Geholfen mußte werden. Das sah auch Napoleon ein. Und deshalb kaufte er von staatswegen die ganze Krapproternte auf und ließ, um den schönen Farbstoff nicht verkommen zu lassen — die Hosen seiner Soldaten mit ihm färben. Was bis zum großen Kriege Tradition blieb. Wie aber die meisten Traditionen im Ernstfall unerquicklich und schädlich sind, so auch diese. Sie erwies sich als stark kugelanziehend und wird infolgedessen heute nicht mehr gepflegt. Die südfranzösischen Bauern aber betreuen jetzt wieder ihre Rebstöcke und sind damit wenigstens vor deutscher Konkurrenz sicher.

Noch eine andere Farbstoffsynthese wirkte revolutionierend auf dem Weltmarkt. Nach langdauernder Forschungsarbeit gelang es dem deutschen Chemiker Adolph von Baeyer einen der am längsten bekannten Farbstoffe, den Indigo, künstlich darzustellen. Bis zum Ende des neunzehnten Jahrhunderts wurde er fast ausschließlich aus der in Indien in großen Mengen angebauten Indigopflanze gewonnen. Seit der Jahrhundertwende jedoch — führt selbst Indien synthetischen Indigo für seine Webwarenindustrie ein; allerdings nicht nur aus Deutschland, das nicht mehr alleiniger Produzent des synthetischen Produkts ist.

Zweifellos sind beide Substanzen, Krapprot ebenso wie Indigo, im strengen Sinne des Wortes Ersatzstoffe für die in den Pflanzen gebildeten Farbstoffe. Wie kommt es denn nun, daß sie trotzdem die natürlichen verdrängt haben?

Das liegt daran, daß die beiden technisch bereiteten Farbstoffe völlig identisch sind mit den Naturprodukten. Kein Chemiker und kein Färber vermag einen Unterschied zwischen künstlich hergestelltem oder natürlich gewonnenem Indigo oder Krapprot festzustellen. Da die synthetischen Stoffe jedoch billiger und in ihrer Reinheit zuverlässiger in der Dosierung sind, haben sie den Anbau von Krapprot völlig illusorisch gemacht, und auch die Indigopflanze wird nur noch in geringfügigen Mengen kultiviert, — worüber die Inder und ihr europäischer Beschützer nicht gerade erfreut sind.

Wir haben es hier also mit zwei „Ersatz"stoffen zu tun, die auch der Listigste nicht mehr von den natürlichen Produkten zu unterscheiden vermag. Das ist selbstverständlich ein gewaltiger Erfolg für den Chemiker. Auch die nicht immer leicht zu befriedigende verarbeitende Industrie ist, ebenso wie der Massenverbraucher, mit seiner Arbeit zufrieden. Diese erste Reihe von Ersatzstoffen,

die sich weder im molekularen Aufbau noch in irgendeiner physikalischen und chemischen Eigenschaft von dem Nachgeahmten unterscheiden, ist nicht allzu häufig. Aber eines steht jedenfalls fest: Diese Stoffe *können* gar nicht schlechter sein als die Naturprodukte, — obwohl ältere Leute das vom Zucker dennoch zuweilen behaupteten.

In der Erinnerung verschönt sich manches. Und so mag auch hier die Verklärung, in der die „gute, alte Zeit" so häufig erscheint, dazu beigetragen haben, dem zunächst ausschließlich benutzten Rohrzucker eine bedeutend stärkere Süßkraft zuzuschreiben.

Der Zucker *kann* aber gar nicht gegenüber früheren Zeiten in seiner Süßkraft nachgelassen haben. Allerdings ist unser heutiger Rübenzucker im Vergleich zum Rohrzucker wiederum „Ersatz". Aber beide Pflanzen, sowohl das Zuckerrohr, als auch die Zuckerrübe, bilden genau den gleichen Zucker, nur in verschiedenen Organen, aus, und Sie können den Chemiker in die allergrößte Verlegenheit bringen, wenn Sie von ihm verlangen, er solle aus verschiedenen Zuckerproben den Rohr- oder meinetwegen auch den Rübenzucker herausfinden. Da muß selbst dieser Tausendsassa seine Zuflucht zum Knöpfeabzählen nehmen. Wenn Sie es nicht weiter erzählen, will ich Ihnen verraten, daß ich meine beiden Standgläser, das eine mit der Aufschrift Rohr-, das andere mit Rübenzucker, stets aus der gleichen Krämertüte fülle, wenn der Inhalt verbraucht ist. Bisher hat mir noch niemand mein Verbrechen nachweisen können.

Zucker war in früheren Jahrhunderten eine Kostbarkeit. Heute rechnen wir ihn zu den Nahrungsmitteln. Schon 1747 entdeckte der Berliner Chemiker Marggraf, daß der Zucker der Zuckerrübe dem des Zuckerrohrs völlig entsprach. Seinem Schüler Achard gelang es jedoch erst um 1800, die Gewinnung fabrikmäßig zu betreiben. Dabei kam ihm allerdings die von Napoleon I. verhängte Kontinentalsperre, die keinen Rohrzucker nach Deutschland hineinließ, zugute. Nach Napoleons Sturz war seine Fabrik gegenüber dem tropischen Zucker nicht mehr konkurrenzfähig und mußte schließen. Erst als es gelang, den Zuckergehalt der Rübe zu steigern — Achard züchtete die Runkelrübe bereits von 2 auf 5 % Zuckergehalt, und die heutige Rübe enthält rund 20 % Zucker! —, konnten um 1830 unsere heimischen Zuckerfabriken den Kampf erneut, und dieses Mal mit Erfolg, aufnehmen.

So ist die Gewinnung des Rübenzuckers zwar keine rein chemische Tat, die sich ausschließlich im Laboratorium abgespielt hat, aber immerhin hat der Chemiker mit seinen Untersuchungen diese

einheimische Zuckerquelle entdeckt, und auf seine Veranlassung hin hat man die Rübe dann auf hohen Zuckergehalt gezüchtet. Was auch glänzend gelungen ist, die Zuckerrübe aber auch zu einer in der Nahrung sehr anspruchsvollen und empfindlichen Kulturpflanze gemacht hat. Heute sprechen eigentlich nur noch sehr alte Leute zuweilen vom Rübenzucker als von einem „Ersatz" für Rohrzucker, die übrige europäische Menschheit kennt diesen Unterschied überhaupt nicht mehr, weil sie gleich *den* Rübenzucker als *den* Zucker kennengelernt und ihn nie als Ersatz empfunden hat.

Es gibt allerdings auch einen richtigen Zuckerersatz, das Saccharin, das sich in jeder beliebigen Menge im chemischen Betriebe aus einfachen Grundstoffen, die dem Teer entzogen werden, herstellen läßt. Es bedeutet für den Chemiker eigentlich eine große Überraschung, daß dieser Stoff, der im inneren molekularen Aufbau auch nicht die allergeringste Ähnlichkeit aufweist, die geschätzteste Eigenschaft des Zuckers, seine Süßigkeit, gleich in fünfhundertfacher Verstärkung aufweist. Es besitzt nicht den geringsten Nährwert, bildet aber für den Zuckerkranken, der jede Art von Zucker meiden muß, ein wertvolles Mittel, um dennoch den Speisen den gewünschten süßen Geschmack zu verleihen. Hier finden wir also zum ersten Male wirklich einen Stoff, der als Ersatz im Sinne des allgemeinen Sprachgebrauchs anzusehen ist. Daß auch diesem Ersatz bei der Zuckerkrankheit eine neue, segensvolle Aufgabe zugefallen ist, sei dankbar anerkannt.

Es ist aber durchaus nicht immer gesagt, daß etwas Neues, welches etwas Altgewohntes ersetzen soll, die gleichen Eigenschaften haben muß wie dieses. Es *kann* dem Gewohnten gleich sein, gewiß; es kann *schlechter* sein, wie die Ersatzstoffe des Weltkrieges; es kann auch *besser* sein, und es kann schließlich auch nur *anders* aber vielleicht zweckmäßiger sein. Ich bin jedoch fest davon überzeugt, daß in allen Fällen die Menschheit dem Neuen stets ihren stärksten Widerstand entgegengesetzt hat.

Ich glaube z. B. ganz bestimmt, daß der fellbekleidete Mann und die fellbekleidete Frau sich nur äußerst widerwillig entschlossen haben, die „neue Mode" der gewebten Stoffe mitzumachen. (Deswegen kleiden sich wahrscheinlich auch die *jetzt* lebenden Frauen noch so gerne in Pelze! Die sie übrigens, wenn sie wärmen sollen, verkehrt herum anziehen.) Ich glaube und weiß es sogar, daß die „unedle" Baumwolle der dann inzwischen zum beherrschenden Produkt gewordenen Wolle einen schweren Kampf liefern mußte, um sich durchzusetzen. Aber ich glaube kaum, daß die heutige Damenwelt auf ihre Baumwollstrümpfe — denn Kunst„seide" ist Baum-

wolle! — zugunsten der früheren Wollstrümpfe verzichten würde. Wärme allein tut es schließlich auch nicht. Was schon bei den Pelzen festzustellen war. Und wenn nicht das Porzellan erfunden worden wäre, äßen wir heute wahrscheinlich noch von Zinntellern. Porzellan ist auch Ersatz! Der Steinzeitmensch wird sich nur schwer von seinen Geräten zugunsten der Bronzegegenstände getrennt und der Mensch der Bronzezeit nur zögernd zu Eisengerätschaften gegriffen haben. Und ob etwa das zerbrechliche Glas sofort ein willkommener Ersatz für die Fell- und Häuteverkleidung der Fenster gewesen ist, bleibt auch noch zu bezweifeln. Was würde weiterhin die heutige Menschheit wohl dazu sagen, wenn sie ihre Abendzeitung in Form von gebrannten Tontafeln durch die Haustür gesteckt bekäme oder ihre Korrespondenz auf Papyros oder auch nur schweinsledernen Häuten anstatt auf aus Lumpen oder Holz gewonnenem Papier erledigen sollte? Die zuletzt aufgezählten Produkte haben alle mit dem ursprünglichen Stoff nur wenig gemein; sie sind völlig andersartig, haben teilweise ganz abweichende Eigenschaften, die gar nicht immer sehr erfreulich — wie die Zerbrechlichkeit des Porzellans und Glases — sind, und haben sich *doch* durchgesetzt. Um wieviel mehr sollten das Stoffe tun, die dem zu Ersetzenden überlegen sind! Bevor wir uns jedoch diesen Produkten zuwenden, soll noch einmal von Farbstoffen gesprochen werden.

Indigo und Krapprot kennen wir bereits. Sie sind der Natur nachgebildet. Die Synthese des Krapprots war es vor allen Dingen, die der aufstrebenden deutschen Farbenindustrie den sicheren Halt und den Mut zu weiteren Schritten in ein damals unbekanntes Land verlieh. Heute geht die Zahl der künstlich hergestellten Farben in die zehntausende. Sie sind aber nicht mehr, wie die bereits aufgezählten, der Natur nachgebildet. Die meisten natürlichen Farbstoffe sind, so schön und farbenprächtig sie auch erscheinen, viel zu empfindlich. Sie halten sich nicht. Sie zersetzen sich außerordentlich leicht. Häufig schon, wenn man sie einfach herauslösen will. Der Mensch braucht für sein Schmuckbedürfnis aber sehr viel unempfindlichere Farbstoffe, als ihm die Natur in den meisten Fällen zu liefern vermag. Und wiederum ist es dem großen Zauberer gelungen, diesen Wunsch der Menschheit zu erfüllen. Und dieses Mal kann man wirklich behaupten, daß der Chemiker, und hier auch wieder vorwiegend der deutsche, „gezaubert" hat. Denn ohne Vorbild, aus einfachsten Bausteinen, fast aus dem Nichts, hat er die leuchtendsten Farben in allen nur denkbaren Abstufungen geschaffen, Farben, die die natürlichen in ihrer Haltbarkeit übertreffen können.

Vor wenig mehr als hundert Jahren entdeckte Runge (1834) das Anilin im Steinkohlenteer. Aber erst rund zwanzig Jahre später, 1856, kam der erste Anilinfarbstoff in den Handel. Als der Deutsche W. Hofmann in systematischer Arbeit die Umsetzungen der reagierenden Moleküle aufklärte — das war um die Mitte der sechziger Jahre —, nahm die Farbenindustrie jedoch erst den gewaltigen Aufschwung. Wir reden auch wohl heute noch von Anilin- oder Teerfarbstoffen, obwohl sehr bald viele weitere Farbstoffgruppen, die in der Jetztzeit durchaus im Vordergrund stehen, gefunden wurden. Immer aber ist der Steinkohlenteer die Quelle für alle diese Wunder. Wir werden uns allerdings nach all dem, was vorhergegangen ist, selbstverständlich nicht mehr vorstellen, daß diese Stoffe sich fertig gebildet in der schwarzklebrigen Masse fänden. Daß Teer also eigentlich buntfarbig sei wie das Sonnenlicht auch. Nein, sondern in ihm findet sich lediglich das Ausgangsprodukt. Nämlich Benzol. Benzol besteht, und das ist die einzige Ähnlichkeit mit Benzin, wie dieses nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff. Es ist also, wie Benzin, ein Kohlenwasserstoff. Das Benzol ist aber ein einheitlicher Körper von ganz bestimmter Zusammensetzung. In seinem Molekül ist der Wasserstoff gegenüber dem Kohlenstoff nicht so reichlich vertreten wie in den Kohlenwasserstoffen des Benzins. C_6H_6 lautet seine Formel. Der Bau des Moleküls weist auch nicht die entfernteste Ähnlichkeit mit dem der Petroleumkohlenwasserstoffe auf, bei denen uns die Kettenbildung besonders aufgefallen ist. Beim Benzol dagegen haben sich die sechs Kohlenstoffatome zu einem Ring zusammengeschlossen, und an jedem Kohlenstoffatom findet sich nur ein Wasserstoffatom. Durch diese sonderbare innere Struktur reagiert Benzol, und auch die aus ihm erzeugten Produkte, ganz anders als die sonstigen organischen Stoffe. Ja, die Chemie behandelt das Benzol und seine Abkömmlinge in ihrem Lehrgebäude in einem gesonderten Abschnitt, der sich immer mehr und mehr vergrößert.

Das Benzol nun ist das Ausgangsmaterial aller synthetischen Farbstoffe. Auch hier ist es sehr schwer, ähnlich wie bei den Grenzkohlenwasserstoffen des Petroleums, in das Molekül einzudringen. Während dort allein das angriffslustige Chlorgas imstande war, sich an die Stelle von einem oder mehreren Wasserstoffatomen zu setzen, muß hier zu einem ähnlich scharfen Mittel, einer Mischung von konzentrierter Salpetersäure mit konzentrierter Schwefelsäure gegriffen werden, wobei die Schwefelsäure lediglich die

Aufgabe hat, das gebildete Wasser aufzunehmen und damit eine Verdünnung der Salpetersäure zu vermeiden. Neben dem Chlorgas ist dieses Säuregemisch wohl so ziemlich das radikalste Mittel, was der Chemiker zur Verfügung hat. Und ihm kann auch das so sehr stabile Benzolmolekül nicht widerstehen. Es bildet sich Nitrobenzol.

Sie kennen es. Die billigen Mandelseifen riechen danach. Es ist nämlich der Ersatz für den Ersatz des echten Mandelöls. Ja, Sie haben ganz richtig gelesen! Es ist wirklich ein durchaus zweitklassiger Ersatzstoff, der den besseren Ersatzstoff, den Benzaldehyd (mit der Betonung auf der ersten Silbe), welcher aber auch noch verhältnismäßig teuer ist, ersetzen soll. Beide Stoffe haben jedoch nicht das mindeste mit dem aus Mandeln gewonnenen Öl zu tun. Nur Zunge und Geruch lassen sich durch diese beiden Substanzen betrügen. Hier bietet sich nun wirklich einmal Gelegenheit, hemmungslos auf den elenden Ersatz zu sch — elten. Noch dazu, wo Nitrobenzol in größeren Mengen genossen giftig ist.

Aus Benzol läßt sich mittels der fürchterlichen Nitriersäure Nitrobenzol gewinnen, indem eines der sechs Wasserstoffatome durch den einwertigen — NO_2bestandteil der Salpetersäure ersetzt wird. Und mit diesem gewalttätigen Eindringen in das Molekül ist der Widerstand des Benzols gegen fernere Eingriffe erlahmt. Jetzt kann der Chemiker weiter arbeiten: Neue Gruppen einführen, Gruppen verändern, Moleküle aneinander ketten und was dergleichen Künste alles sind. Und nachdem er dabei die ersten färbenden Stoffe entdeckt hat — übrigens ist nicht jede farbige Verbindung ein Farbstoff —, hat er in systematischem Aufbau viele tausend Farbstoffe geschaffen und erzeugt weiter noch neue, damit er immer höheren Ansprüchen genügen kann. Auch hier ist es ihm gelungen, zwischen dem Bau des Moleküls und dem Farbton gewisse Gesetzmäßigkeiten aufzudecken, so daß aus der früheren Planlosigkeit heraus jetzt ein dem selbstgesteckten Ziele sicher sich nähernder Weg führt. Um deutlicher zu werden: Der Chemiker weiß heute ganz genau, welche Atomgruppierungen er einführen muß, um aus dem hellroten Farbstoff einen dunkelroten oder violetten zu erzeugen. Er vermag somit mittels leiser durch ihn gelenkter Veränderungen und Eingriffe in das zugrundeliegende, meistens recht komplizert zusammengesetzte Molekül jede gewünschte Farbschattierung zu schaffen. Seine Beobachtungen haben ihn tiefe Einblicke in den Zusammenhang zwischen molekularem Bau und Farbwirkung tun lassen, die ihn nunmehr bei der Farbenschaffung leiten. (Im Gegensatz dazu ist es uns bisher kaum gelungen, eine Beziehung zwischen dem Molekülaufbau und Geruchs- und Geschmacksempfindungen aufzudecken.)

Die ersten synthetisch erzeugten Farben hatten vielfach einen großen Nachteil. Sie waren nicht genügend lichtbeständig. Infolgedessen sind sie im Laufe der Jahre durch immer farbenkräftigere und beständigere verdrängt worden. Nur wenige unter ihnen haben, wie Indigo und Krapprot, ihre bevorzugte Position einigermaßen verteidigen können. Denn die Lichtechtheit ist ja gar nicht einmal das einzige, was man von einem guten Farbstoff verlangt. Ebenso wichtig ist die Haftfestigkeit auf der Faser. Und da besteht ein großer Unterschied zwischen den tierischen Fasern, etwa Wolle und Seide auf der einen Seite, und den vielen pflanzlichen, Leinen, Baumwolle, Kunstseide, Zellwolle usw. auf der anderen. Die Farbstoffe müssen auf allen diesen Stoffen als Farblacke niedergeschlagen werden, nur wenige machen davon eine Ausnahme, wie der Indigo und die Indanthrenfarbstoffe, die direkt auf der Faser erzeugt werden. In den weitaus meisten Fällen wird die Faser erst mit einer Beize — das sind Salze anorganischer Stoffe, meistens dreiwertiger Metalle — versehen, die den Farbstoff zum Haften zwingen. Mit ihrer Hilfe lassen sich auch auf den Stoff die schönsten Muster bringen, die man mit der Beize aufträgt. Nur an den so vorbehandelten Stellen bleibt der Farbstoff dann sitzen, an den übrigen läßt er sich auswaschen. Mit Hilfe der Beizen kann man außerdem die Farbtönung, allerdings innerhalb enger Grenzen, variieren, da die Farblacke der verschiedenen Beizen nicht gleich sind.

Wenn man heute von synthetischen Farbstoffen spricht, so meint man meistens die deutschen Indanthrenfarben, welche in einer Mannigfaltigkeit erzeugt werden, die jedem Wunsche Genüge leisten kann. Sie unterscheiden sich grundsätzlich, in ihrer Chemie, nicht von den anderen künstlichen Farbstoffen. In dieser Gruppe hat man lediglich die lichtbeständigsten Farben zusammengefaßt. Völlig licht*echt* sind jedoch auch *sie* nicht. Sie werden darin noch bei weitem übertroffen durch die Mineralfarben, die sich aber zum Färben von Stoffen nicht eignen. Für den Maler bilden sie hingegen auch heute noch die sicherste Grundlage seiner Kunst. Jedenfalls, wenn er für Jahrhunderte schaffen will. Und welcher echte Künstler wollte das nicht! Es ist zu verstehen, daß Maler versucht haben, die reiche Farbskala der „Anilinfarben" für ihre Werke auszunutzen. Die Resultate, die allerdings aus der Frühzeit der Fabrikation stammen, ermutigen gerade nicht zur Nacheiferung, wie das Beispiel des einst wegen seiner leuchtenden Farben vielbewunderten Malers Makart zeigt. Heute sind seine Gemälde kaum

noch zu ertragen, da die Stärke dieser Schöpfungen, die Farbenfreudigkeit, einem mehr oder weniger stumpfen gleichmäßigen Grau gewichen ist. Die Industrie stellt jetzt zwar weit beständigere Farbstoffe her, aber einer Belastungsprobe, wie sie den Gemälden alter Meister zugemutet worden ist, würden auch *sie* wohl nicht standhalten. Für die gewöhnlichen Zwecke des täglichen Lebens genügt ihre Lichtechtheit aber völlig. Die Lebensdauer der Faser und der übrigen Gebrauchsstoffe übertreffen sie nämlich bei weitem! Und deshalb mögen wir sie mit einigermaßen Berechtigung auch lichtecht nennen. Schließlich soll der bunte Gartenschirm oder das duftige Sommerkleid ja nicht in alle Ewigkeit halten!

Die deutschen Farben haben den Ruf der deutschen chemischen Industrie begründet, und auch heute noch gibt das Ausland viel Geld für unsere heimischen Erzeugnisse aus, so daß dieser Fabrikationszweig ein Devisenbringer erster Ordnung geblieben ist. Welche Bedeutung die deutsche Farbenindustrie selbst im großen Kriege für die Feindstaaten hatte, wurde schlagartig beim „Friedensschluß" klar. Aber da muß ich wieder einmal etwas weiter ausholen.

Es ist selbstverständlich, daß sich jedes Land gegen Ausspähungen zu schützen sucht, Das ist gar nicht so leicht. Denn der Gegner läßt alle Künste spielen, um hinter die Geheimnisse der Wehrhaftigkeit zu kommen oder — und das interessiert fast ebenso stark — hinter die Kulissen eines Industriewerkes zu gucken. Patente, die einen Fabrikationsprozeß schützen sollen und die jedermann zur Einsicht offen stehen, verraten begreiflicherweise so gut wie gar nichts. Sie sind so abgefaßt, daß selbst der Fachmann nicht imstande ist, die ganz genauen Versuchsbedingungen herauszufinden. Hier besteht also keine große Gefahr. Die liegt ganz woanders. Nämlich beim Menschen mit all seinen Schwächen. Das weiß der Ausspäher sehr wohl. Schon Geschwätzigkeit und Großsprecherei sind gefährliche Bundesgenossen des Wißbegierigen. Geldgier aber hat schon manchen Charakterschwachen um Ehre, Vaterland und — Leben gebracht. Um sich möglichst zu sichern, haben in den großen chemischen Werken nur ganz wenige einen vollständigen Überblick über alle Fabrikationsverfahren. Dem angestellten Chemiker ist lediglich ein ganz beschränktes Arbeitsgebiet zugeteilt; schon die Nebenabteilung ist für seinen Einblick gesperrt. Immerhin hat auch der einzelne wichtige Geheimnisse zu hüten. Und so konnte es geschehen, daß zu Beginn des Weltkrieges einige gewissenlose Farbstoffchemiker dem Lockruf der Vereinigten Staaten von Amerika nicht widerstehen konnten und mit ihren Kenntnissen jenseits des Ozeans eine neue Farbstoffindustrie aufbauen sollten

und wollten. Das scheint aber doch nicht geglückt zu sein. Denn unter den Forderungen des Versailler Schanddiktates, jenes „Vertrages", in dem sich die habgierige und sadistische Seele des Gegners so ohne jede Scham offenbarte, war nicht nur die Menge der Hasen und Rehe angegeben, die Deutschland zu liefern hatte (es war eben nichts vergessen worden), sondern es wurde auch verlangt für England: eine Schiffsladung deutscher Farben! (Die Franzosen forderten dafür zwei Frachtdampfer voll Zucker. Per sofort!)

In aller meiner Wut über die unsinnigen und unverschämten Verlangen habe ich vor allen Dingen über die englische Forderung lächeln müssen. Es war also anscheinend dem Auslande *doch* nicht geglückt, selbst unter fachmännischer Leitung eine eigene Farbstoffindustrie aufzubauen. Und sogar dann ließen sich diese buntfarbigen und schillernden Moleküle nicht zum Gehorsam zwingen, als man von Deutschland 1918 mit der Hand an der Gurgel die Auslieferung aller seiner wesentlichen Patente erzwang. Deutet sich vielleicht schon *hier* in dieser von Triumph erfüllten Zeit bereits der *wirkliche* Sieger an? Aber vielleicht hat sich der Gegner ja Zeit gelassen beim Errichten seiner Fabriken? Bis heute habe ich jedoch noch nichts von erfolgreicher Konkurrenz gegenüber den deutschen Farben gehört! Oder sollte der Mißerfolg vielleicht doch noch *besondere* Ursachen haben?

Ja, er *hat* solche Ursachen, die in dem ganzen System und in der Arbeitsweise der deutschen chemischen Industrie begründet sind.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß der Besitz von Patentvorschriften für Fabrikfremde ziemlich wertlos ist. Sie gewinnen erst ihre Bedeutung in der Hand des damit vertrauten Chemikers und Arbeiters.

Wir sprachen früher schon einmal ausführlich von der Person des großen deutschen Chemikers Justus von Liebig. Sein Lebensbild wäre unvollständig, wenn nicht einer weiteren wesentlichen Begabung gedacht würde, die heute noch ihre Auswirkung zeigt. Erst seiner *pädagogischen* Veranlagung ist es zu danken, daß Deutschland über die besten Chemiker verfügt. Damals führte sie zur Umwälzung in der Ausbildung der Chemiestudenten.

Liebig erkannte, daß der Chemiebeflissene nicht, wie es bis dahin üblich war, seine Wissenschaft am Schreibtisch aus Büchern oder aus dem Vorlesungsversuch des Dozenten zu erlernen habe, sondern daß er vor allen Dingen am Experimentiertisch seine wesentlichsten Erfahrungen sammeln soll. Die Studenten der ganzen Welt strömten bald nach der kleinen hessischen Universitätsstadt, wo sie neben dem hervorragenden Gelehrten gleichzeitig den aller-

besten Lehrenden fanden. Das kleine, behelfsmäßige Laboratorium Gießens reichte bald nicht mehr im entferntesten aus, um die Zahl der Wissensdurstigen zu fassen. Es mußte gegen den Widerstand der etwas betagten alma mater — wo fände das Neue etwa keinen Widerstand? — erheblich vergrößert werden. Bald übernahmen auch andere Universitäten diese Einrichtung mit ihrem neuen Ausbildungsgang, und heute gibt es keine Hochschule, auch im Auslande nicht, an der der Liebigsche Gedanke nicht der vorherrschende ist. Das eigene Experiment des jungen Studenten ist das A und O seiner Lehrzeit.

Man könnte glauben, daß das Ausland nun inzwischen diesen Vorsprung eingeholt habe. Geld gibt es dort ja im allgemeinen mehr als bei uns. Und in der Tat übertreffen die Laboratorien mit ihren Einrichtungen die deutschen ganz erheblich. Und trotzdem wird dadurch die Leistung des heimischen Chemikers meistens nicht erreicht. Das hat *wiederum* einen besonderen Grund, der nicht allgemein bekannt, aber dennoch kein Geheimnis ist.

Schon vor 1914, und heute ist das für das gesamte Reich ganz konsequent durchgeführt, hatte jeder Hochschullehrer ein ganz bestimmtes Arbeitsgebiet, das von allen anderen stillschweigend als seine ureigenste Domäne anerkannt wurde. Die Chemie ist nun aber diejenige Wissenschaft, deren Erkenntnisse und Forschungen am lautesten nach der Anwendung in der Praxis rufen. (Sie wird infolgedessen auch nie die Fühlung mit der Allgemeinheit verlieren, wenn sie allerdings in ihren wissenschaftlichen Ergebnissen auch nicht immer für *jeden* verständlich zu sein braucht.) Und so stand jeder Dozent mit chemischen Fabriken in Verbindung, die seine Forschungen auf ihre Verwendbarkeit in der Praxis untersuchten. Ganz abgesehen davon, daß die Übersetzung eines gelungenen Laboratoriumversuches in den Großbetrieb oft außerordentlich schwierig ist und viel Geld kostet, das dem einzelnen meistens nicht zur Verfügung steht, bei einem großen Betrieb jedoch nicht gar so erheblich zu Buch schlägt, bietet diese Zusammenarbeit für beide Teile Anregung in Hülle und Fülle. Der Forscher findet für seine Arbeit, die er allein mit all seinem Kleinkram gar nicht meistern kann, nun seinerseits eine schätzenswerte Hilfe in seinen Doktoranden. Das sind diejenigen, die durch eigene wissenschaftliche Arbeiten den chemischen Doktorgrad erringen wollen. Sie bearbeiten einen kleinen Ausschnitt des vom Dozenten beackerten Arbeitsfeldes und ermöglichen diesem damit, durch Zusammentragen vieler kleiner Bausteine dem größeren Ziele schneller sich zu nähern. Gerade *diese* Zusammenarbeit trägt vorzüglich dazu

bei, der deutschen chemischen Industrie ihren Vorsprung zu erhalten. Denn der junge Chemiker geht meistens in den Betrieb, mit dem der Dozent zusammenarbeitet. So ist er schon bei seinem Eintritt bestens mit der dortigen Arbeit vertraut, die er ja bereits von seinem Studium aus allen Blickrichtungen her kennt.

Aber was bedeuten alle diese günstigen Voraussetzungen, wenn nicht ein geschulter Arbeiterstand erst die Übertragung der Forscherarbeit in den Großbetrieb ermöglichte! Das ist der *allergrößte* Aktivposten unserer Industrie.

Man sehe sich etwa einmal einen Glasbläser bei seiner Tätigkeit an. Gewiß, daß der Glasfluß richtig zusammengesetzt ist, ist nicht immer sein Verdienst. Aber wann er bearbeitungsfähig ist, sich also blasen läßt, das sieht er auf die Sekunde genau. Er wird wahrscheinlich einem Besucher gegenüber gar nicht einmal erklären können, welche Anzeichen er beachtet, damit er die Masse zum richtigen Zeitpunkt mit seiner Glaspfeife aus dem Ofen holt. Jahrelange Beobachtung läßt ihn niemals irren; er trifft seine Entscheidung fast gefühlsmäßig. Und so gibt es in jedem Fabrikationsbetrieb stets viele Meister, Vorarbeiter und selbst einfache Arbeiter, die komplizierte chemische Prozesse besser überwachen als es die chemische Laboratoriumsuntersuchung vermöchte. Sehr häufig auch pflanzt sich Wissen und Erfahrung von Vater auf Sohn, von Sohn auf Enkel fort, so daß der von Generationen behütete Prozeß in stets gleichbleibender Regelmäßigkeit das gleiche Güteprodukt erzeugt. Der Chemiker kann diesem einfachen und zuverlässigen Arbeiter nicht dankbar genug sein. Ohne ihn würden deutsche Erzeugnisse niemals den Siegeszug, der ihnen sehr häufig schwer genug gemacht worden ist, in die Welt haben antreten können. Und nur so haben auch die synthetischen Farbstoffe über die natürlichen gesiegt. Farbstoffe, als Ersatz gedacht, die sich zu Königen im täglichen Leben entwickelt haben.

2.

Ich bin kein allzugroßer Freund des Films, da ich in ihm nur selten mehr als ein das oberflächlichste Unterhaltungsbedürfnis befriedigendes Kunsterzeugnis gefunden habe. Trotzdem gehe ich des öfteren ins Kino! Männliche Logik? Nun, hin und wieder braucht man ja wirklich einmal eine derartige Entspannung, und zum anderen lasse ich mich als ausgesprochener Optimist von den Lobpreisungen der Verwandtschaft und Bekanntschaft immer wieder verleiten, neuen Hoffnungen nachzueilen. Meistens fesselt dann wohl eine schauspielerische Leistung, aber das große Erlebnis ist

es wiederum nicht. Da muß man sich eben mit stilleren Freuden begnügen. Etwa mit der, wie in dem „Robert Koch"-Film deutlich zu machen gesucht wird, welche Unsumme an Arbeit nötig ist, um zu wissenschaftlich einwandfreiem Ergebnis zu kommen.

Immer wieder und wieder färbt Koch das gleiche Präparat ein, um den Tuberkelbazillus sichtbar zu machen. An dieser Stelle ist mir erst richtig bewußt geworden, daß der Kampf gegen die Bakterien und mit ihm die Schaffung der Abwehrmittel, der Medikamente, ja eigentlich nur mit Hilfe der Farbstoffe möglich geworden ist. Hier haben wir ein Arbeitsgebiet, auf dem die doch zunächst nur zur Zierde erzeugten Farben einen bitterernsten Kampf mit uns und für uns um unser Leben führen. Wer hätte das früher einmal auch nur geahnt. Den sichtbar gemachten Feind kann man bekämpfen, den unsichtbaren nicht. Und zur Bekämpfung mußte der Chemiker zwei Waffen schmieden: Einmal den Farbstoff, der den Bazillus unter dem Mikroskop seiner Unsichtbarkeit entkleidete und zum anderen den Stoff, der ihn tötete. So ganz einfach war diese Frage allerdings nicht zu lösen; sind die Bakterien doch gleichfalls Lebewesen, die den gleichen Lebensgesetzen unterstehen wie die Zellen des menschlichen Organismus. „Wie schwierig war es schon", schreiben die I. G. Farben selber, „ein brauchbares Wunddesinfizierungsmittel zu finden! Karbolsäure und Sublimat töten zwar Bakterien, sie sind aber gleichzeitig starke Zellgifte. Man hat deshalb mit Karbolwasser früher oft mehr geschadet als genützt, da zusammen mit den Bakterien das lebende Gewebe zum Teil zerstört und damit die Wundbehandlung wesentlich aufgehalten wurde. Wieviel schwieriger war nun die Aufgabe, die kleinsten krankmachenden Lebewesen, die sich zum Beispiel in Leber, Niere, Herz, Gehirn und sonstwo festsetzen, anzugreifen und zu vernichten, ohne gleichzeitig den Organismus in Mitleidenschaft zu ziehen. Diese Frage schien einfach unlösbar, bis es mit der Einführung des Salvarsan gelang, einen chemischen Körper herzustellen, der den Erreger einer der verheerendsten Seuchen im Körper zu vernichten imstande war".

Der erste große Erfolg ermutigte zu weiteren Angriffen auf die winzigen Gegner. Nicht, als ob nun für jede Bakterie dem Arzte ein Heilmittel in die Hand gegeben werden könnte! So weit sind wir noch lange nicht. Aber schon die Kenntlichmachung dieser lebenszerstörenden Mikroben, sichtbar gemacht durch färbende Stoffe, und das Studium ihrer Lebensbedingungen haben zu überraschenden Resultaten geführt. Semmelweis' fast pathologisch zu nennender Kampf um keimfreie Behandlungen der Wöchnerin hat

das Kindbettfieber besiegt, Reinlichkeit hat die Völker hinwegraffenden Seuchen Cholera, Aussatz und die fürchterliche Pest wenigstens in unseren Breiten zu fernen, unbekannten Schrecken werden lassen, und die die Menschheit des letzten Jahrhunderts bedrohende heimtückische Tuberkulose ist dank Kochs Verdienst in ihrer Ursache aufgedeckt worden und läßt sich, rechtzeitig erkannt, heilen. Allerdings nicht so, wie der Entdecker des Bazillus sich dachte. Man tut Kochs Verdiensten keinerlei Abbruch, wenn erzählt wird, daß sein Heilmittel Tuberkulin nicht den darauf gesetzten Erwartungen entsprochen hat. Die Entdeckungen der Milzbrand-, Tuberkel- und Cholerabazillen reihen ihn trotz dieses Mißerfolges in die Zahl der Unsterblichen ein.

Die Bekämpfung all dieser schrecklichen, durch Bakterien hervorgerufenen Krankheiten ist nicht allein das Verdienst des Chemikers gewesen, wenn er auch mit seinen tödlichen Geschossen sehr oft den für gewöhnliche Augen unsichtbaren Feind besiegt hat, wie im Falle der Syphilis. Ohne den beobachtenden Arzt und Biologen wären die großen Erfolge der Medizin nicht möglich gewesen. Die Zusammenarbeit aber des Arztes mit dem Chemiker hat es ermöglicht, daß auch Schlafkrankheit und Malaria, diese beiden furchtbaren Geißeln der Tropen, durch die Bekämpfung mit Germanin, sowie mit Atebrin und Plasmochin ganze afrikanische Landstriche erst wieder bewohnbar gemacht haben. Selbst der engliche Gegner mußte sich zu der Feststellung entschließen, daß „die Entdeckung des deutschen Germanin für die Alliierten wahrscheinlich viel wertvoller sei als sämtliche von ihnen ursprünglich geforderten Reparationen". (Huxley.)

Vorbilder für diese Heilmethoden, die mit synthetisch erzeugten Stoffen arbeiten, gab und gibt es nicht in der Natur. Wir können einigermaßen stolz darauf sein, daß die Hexenküche des Chemikers derartige Erfolge zu erringen weiß mit ihren gegen feindliche Angriffe aufgebauten Molekülen!

Aber auch die Schutzstoffe, die der menschliche und tierische Körper gegen feindliche Eindringlinge *selber* erzeugt, stellt die chemische Industrie in Form des Serums und der Impfstoffe in ganz großem Maße dar.

Kann und will man bei all diesen Erzeugnissen wirklich von „Ersatzstoffen" im üblen Sinne sprechen?

Vielleicht tut man das aber vom Novocain und Pantocain, die zwar die gleiche Wirkung wie das Rauschgift Cocain, jedoch nicht seine unerwünschten Nebenerscheinungen haben? Oder schilt auf Aspirin und Pyramidon, die nicht nur die in älteren Romanen noch

herumgeisternde migränebehaftete empfindsame Dame heute zur lächerlichen Figur machen würden, sondern auch in jedem schmerzlindernden Mittel enthalten sind?

Wer mit diesen „Ersatzstoffen", von denen hier nur die allerbekanntesten aufgezählt sind, nicht zufrieden ist, wer meint, daß sie unnötig seien, der möge sich nur ein einziges Mal ein Bild ansehen, auf dem ein Chirurg des Mittelalters seine „Künste" spielen läßt. Freilich kannten auch diese Ärzte schon schmerzlindernde Mittel, doch sind auch diese meistens aus Pflanzen gewonnenen Stoffe ihrer oft durch Beimengungen hervorgerufenen Nebenwirkungen durch die moderne Chemie weitgehend entkleidet.

Die Erfolge sind Arzt und Chemiker nicht immer leicht gemacht worden; denn auch die Heil- und Giftwirkungen auf den menschlichen Körper sind, ebenso wie Geschmacks- und Geruchsempfindungen, nicht aus dem Bau des Moleküls vorauszusagen. Hier weigert sich vorerst noch das Molekül, seine Geheimnisse preiszugeben. Und so ist es auch zu verstehen, daß Überraschungserfolge eingetreten und vielleicht — vielleicht! — noch zu erwarten sind. Hoffen wir, daß die Durchprobung der bekannten und weiterhin noch erzeugten Molekülarten uns noch manchen Helfer in unserem Abwehrkampfe gegen Krankheiten und Seuchen bescheren wird.

Im Kampfe *mit* Molekülen!

3.

Der moderne Mensch ist nicht geneigt, auf die erleichternden Mittel, die Arzt und Chemiker ihm in Krankheitsfällen zu bieten haben, zu verzichten. Eher schon auf die Fruchtessenzen, die uns der Chemiker als Ersatz für die echten Fruchtextrakte anzubieten wagt. Sie spielen zwar bei weitem nicht die Rolle der Farbstoffe, die späterhin zur Schlüsselindustrie der gesamten chemischen Industrie wurden, obwohl sie schon gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts auf der Londoner Weltausstellung als eines der ersten Erzeugnisse der jungen deutschen Wissenschaft gezeigt wurden. Sie dufteten wirklich ausgezeichnet, was leider nicht von allen chemischen Substanzen zu sagen ist, und ähnelten den natürlichen Fruchtbuketten sehr stark — ohne ihnen in der chemischen Struktur auch nur im entferntesten zu ähneln. Der Chemiker nennt diese Substanzen Fruchtester. Ester sind Verbindungen organischer Säuren mit Alkoholen. Wenn man auch meistens an den Trinkalkohol — Äthylalkohol — denkt, sowie das Wort Alkohol fällt, so versteht der Chemiker im Gegensatz dazu eine ganze große Gruppe von organischen Stoffen darunter, nämlich alle diejenigen Sub-

stanzen, die die einwertige OHgruppe (—O—H) im Molekül enthalten. Glyzerin, Zucker, Stärke, Zellulose und viele andere Stoffe mehr sind in diesem Sinne Alkohole. (Hoffentlich habe ich damit dem geschworenen Alkoholgegner keinen allzu großen Schrecken eingejagt.) Die Alkohole setzen sich gerne mit organischen Säuren um. Ameisensäure und Essigsäure sind auch dem Leser sehr bekannte Vertreter dieser Substanzarten, wobei allerdings zu erwähnen ist, daß unser Speiseessig keine reine Essigsäure ist, sondern nur eine dreipozentige wässerige Lösung. Es wird mir wohl unbesehen geglaubt, daß reine Essigsäure genau so scharf ätzend wirkt wie die so wenig beliebte Ameisensäure. Während die Alkohole alle die ein wenig lose OHgruppe enthalten, besitzen sämtliche Säuren ein sehr bewegliches, austauschbares Wasserstoffatom. Wir wissen schon, und können es bei dieser Gelegenheit noch einmal wiederholen, daß mit der OHgruppe und mit dem H-atom wieder einmal mehr die Gelegenheit gegeben ist, dasjenige Molekül zu bilden, welches mit Vorliebe, als besonders indifferent, entsteht: nämlich H_2O, Wasser. Wir brauchen gar keine großen Kunststücke anzustellen, um die Vereinigung der beiden Molekülarten zu erzwingen. Ein kleiner Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure, die das gebildete Wasser aufnehmen soll, genügt, um bei leichtem Erwärmen die schönsten Düfte zu erzeugen. Schon gewöhnlicher Alkohol mit Essigsäure vereinigt riecht, wenn auch ein wenig säuerlich scharf, recht angenehm. Das Merkwürdigste aber ist, daß die Verbindungen der am schlechtest duftenden Alkohole mit den abscheulich riechendsten Säuren die allerschönsten Düfte liefern. Auch die der ranzigen Butter ihren Geruch verleihende Buttersäure ist ein derartiger Vertreter. Noch schlimmer benimmt sich die Valeriansäure. Trotz ihres klangvollen Namens erfreut sie sich nur geringer Beliebtheit. Ist sie doch diejenige Substanz, die dem menschlichen Schweiß seine Wirkung auf die Nase verleiht. Kuppelt man diesen würdigen Vertreter seiner Klasse mit dem Amylalkohol, jenem finsteren Gesellen, der als Fuselölbeimengung schlechten alkoholischen Getränken ihre nur zu bekannte „jämmerliche" Wirkung auf die Kopfnerven und Haarwurzeln verleiht, so entsteht der wunderbar nach reifen Birnen duftende Birnenäther. Wahrscheinlich verdanken die Buketts der Weine, die vom Kenner so sehr geschätzte „Blume", ebenfalls ihren Duft ähnlichen Estern. Saure Drops, Himbeerbonbons, die nie Himbeeren gesehen haben, und manche andere Süßigkeiten beziehen ihr Aroma aus der Hexenküche des Chemikers. Ersatz! Ganz *übler* Ersatz!! Und doch möchte man ihn nicht entbehren.

Man kann natürlich auch darauf schelten, daß der deutsche Chemiker Substanzen geschaffen hat, die imstande sind, uns regelrechte Blumendüfte vorzutäuschen. Die Konkurrenz, und namentlich die französische, welche in der Entziehung von natürlichen Blumenduftstoffen ja nun wirklich Meister ist, tut das gerne, wobei sie sich sogar über einen bekannten belgischen Dichter bis zum Vorwurf des Nihilismus gegenüber ethischen und ästhetischen Gesetzen versteigt. Meine etwas robustere Auffassung geht dahin, daß es wohl ziemlich gleichgültig ist, ob der Eindruck des Veilchenduftes vom wirklich aus den Veilchen gewonnenen Jonon oder vom „Ersatz"-stoff Pseudojonon hervorgerufen wird. Wenn schon vom Fachmann kein Unterschied festzustellen ist — obwohl die Molekülarten miteinander nicht die geringste Ähnlichkeit im Aufbau aufweisen —, so kann es dem Verbraucher ziemlich gleichgültig sein, womit seine Seife parfümiert ist. Wir wollen ihm aber natürlich keinesfalls verwehren echte französische Seifen, die ihren hohen Preis fast ausschließlich dem teuren Zusatz an natürlichen Blütenduftstoffen verdanken, zu benutzen. Recht muß Recht bleiben! Pseudojonon ist Ersatz!! Mit dem wir allerdings vollauf zufrieden sein können. Schließlich wirkt sich dieser Ersatz ja auch vorteilhaft für uns aus: Pseudojonon ist nämlich viele tausend Male billiger als der aus den Veilchenblüten gewonnene Extrakt; ebenso wie synthetisches Vanillin oder wie die Nachbildungen von Riechstoffen, die unserer Nase die bezaubernden Düfte von Maiglöckchen, Flieder, Reseda, Jasmin oder Ylang-Ylang vorzutäuschen verstehen.

4.

Viel leichter vermögen sich die Ersatzstoffe durchzusetzen, wenn in der Allgemeinheit der zu ersetzende Stoff noch nicht seine in der Wertschätzung durch nichts zu erschütternde Stellung bezogen hat. Um deutlicher zu werden: Hätte man die drahtlosen Wellen schon einige Jahrzehnte früher zu meistern verstanden, so hätten wir nicht die vielen häuslichen Empfangsgeräte aus dem schönen Kunststoff, den wir noch an vielen, vielen Stellen benutzen, ohne daß es uns immer zum Bewußtsein kommt. Die Grundlage für diese Art Kunststoffe bildet das Kunstharz, — wiederum eine rein deutsche Erfindung.

Eigentlich wollte A. v. Baeyer — derselbe Baeyer, der 1897 die Indigosynthese ausführte — im Jahre 1878 gar kein Kunstharz erfinden, als er Phenol mit Formaldehyd erhitzte. Er suchte vielmehr Lacke zu erzeugen. Erst nach dem Weltkriege, also gut vierzig Jahre später, haben seine damaligen Untersuchungen und

Beobachtungen in langwieriger Arbeit zu einem Stoff geführt, ohne den unsere Technik kaum mehr auskommen kann. Auch im Ausland nicht, falls das manchen skeptischen Leser beruhigen sollte. Den Stoff der tausend Möglichkeiten hat man das Kunstharz vielfach genannt, weil sich außerordentlich viele Gebrauchsgegenstände daraus herstellen lassen. Selbst die von Baeyer gesuchten Lacke, wie die Karosserie jedes Kraftwagens beweist. „Der müßte um sehr viel teurer sein, wenn man ihn etwa wie früher den Kutschwagen lackieren wollte. Das dauerte Wochen und Wochen und bedurfte langer Arbeitszeit. Erst die Nitrozelluloselacke ermöglichten, da sie sich einfach maschinell auf Metalle spritzen lassen, die Produktion am laufenden Bande. Für den Kleinbetrieb, zum Streichen mit dem Pinsel, sind diese Lacke jedoch nicht geeignet. Auch lassen sie sich nicht auf Holz spritzen. Die reinen Kunstharzlacke vermögen in der letzten Zeit sogar diese Lücke zu schließen", schreibt einmal der „Völkische Beobachter" in seinem Wirtschaftsteil. Der Baeyersche Weg war also doch gangbar.

Phenol und Formaldehyd (mit der Betonung auf der ersten Silbe) sind die Ausgangsmaterialien für Kunstharz. Es sind recht bekannte Stoffe, allerdings kaum mit ihrer chemisch-wissenschaftlichen Bezeichnung. Phenol ist nichts anderes als die bekannte Karbolsäure, die, zusammen mit Jodoform, dem Krankenhaus früher seine typische Atmosphäre verlieh. Es ist dem Benzol sehr nahe verwandt, da es ebenfalls sechs ringförmig gebundene Kohlenstoffatome enthält. Eines der dazugehörigen sechs Wasserstoffatome ist jedoch durch die uns hinreichend bekannte einwertige —OH-gruppe ersetzt, so daß es, wenn das Benzol die Formel C_6H_6 besitzt, seinerseits die Zusammensetzung $C_6H_5(OH)$ haben muß. Ebenso wie das Benzol kommt es im Steinkohlenteer vor, aus dem es auch gewonnen wird. Zunächst nur als lästiges Nebenprodukt, bis der berühmte englische Arzt Lister seine stark antiseptischen Eigenschaften entdeckte. Heute ist es durch bessere und nicht so stark riechende Mittel auf diesem Gebiete überholt. Dafür begann es aber einen neuen und triumphalen Siegeszug als Ausgangsstoff für die Anilinfarbenerzeugung, so daß es sogar nötig wurde, das einst so lästige Nebenerzeugnis der Leuchtgasfabrikation aus dem Benzol zu gewinnen. Die neueste und allergrößte Bedeutung hat heute aber Phenol als Grundstoff für die Darstellung der Kunstharze erlangt.

Der andere Grundstoff dafür ist Formaldehyd.

Auch er ist den meisten kein unbekannter Stoff. Wer sich vor oder bei Erkältungen des „Formamints" bedient, kennt seinen

scharfen, stechenden Geruch ganz genau. Seine bakterientötende Wirkung ist groß. Von seiner weiteren Eigenschaft, das Eiweiß zum Gerinnen zu bringen, macht man schon sehr lange Gebrauch. Das Eiweiß behält dabei seine Form, und somit kann man das Muskelfleisch der Tiere auf lange Zeit erhalten, um in Museen oder Kliniken wichtiges, durch Spiritus gegen Zersetzung geschütztes Anschauungsmaterial dem Beschauer vorzuführen. Vielleicht hat schon mancher meiner Leser auch hier den stechenden Geruch des Formaldehyds gespürt. Er ist sonst kein angenehmer Gast, was bereits seine nahe Verwandtschaft zur Ameisensäure (daher der Name) zeigt.

Ist der Formaldehyd einerseits sehr nahe mit der Ameisensäure verwandt, in die man ihn leicht überführen kann, so ist sein nächster anderer Verwandter der uns schon bekannte Methylalkohol, das Methanol, welches aus einheimischem Material, nämlich Kohlenstoff und Wasserstoff, in beliebiger Menge zu gewinnen ist. Aus ihm läßt sich durch Oxydation leicht Formaldehyd erzeugen; bei noch weitgehenderer Oxydation entsteht dann Ameisensäure, so daß Formaldehyd als Zwischenglied zwischen Methylalkohol und Ameisensäure zu gelten hat.

Erhitzt man nun die beiden Komponenten Phenol und Formaldehyd, so tritt Verharzung ein. Was die Moleküle ganz genau miteinander anstellen, das zu sagen, ist dem Chemiker bisher noch nicht möglich. Gewiß ist aber, daß sie sich zu neuen, sehr großen und deshalb schwer zu erforschenden Molekülen auf die Art zusammenschließen, daß sich die einzelnen Teile von Kohlenstoff- zu Kohlenstoffatom binden. Diese Art der Vereinigung, die auch häufiger unter Abspaltung kleiner Moleküle untereinander oder mit fremden Molekülen stattfindet, nennt der Chemiker Kondensation. Da derartige Bindungen zu den stärksten gehören, die wir kennen, sind die neuen Moleküle recht stabil und widerstandsfähig, was für den täglichen Gebrauch sehr nützlich ist. Die Ausgangsstoffe lassen sich aus ihnen nicht wiedergewinnen. Die innere Struktur der neu entstehenden Gebilde kennt man nicht. Das ist wohl auch der Grund, warum so lange Zeit zwischen ihrer Entdeckung und der Verwendung verstrichen ist. Man tappte ja im Dunkeln und mußte rein empirisch durch immer wieder neu zu sammelnde Erfahrung verwendungsfähige Produkte herausexperimentieren. Leider haben die Phenolkunstharze jedoch einen großen Nachteil: Sie sind nicht lichtecht.

Diese Bedingung erfüllt nun eine zweite Art von Kunststoffen, die Carbamidharze oder Aminoplaste in hervorragendem Maße.

Grundstoff dafür ist einmal mehr der Formaldehyd, der mit Harnstoff und geeigneten Katalysatoren zusammen wiederum Kunstharze, natürlich von ganz anderer Struktur, aber auch wieder durch Kondensation, liefert.

Durch Erfahrung fand man, daß beide Kunstharzarten bei geringen Wärmegraden, wenig über 100°, Stoffe lieferten, die sich durch geeignete Lösungsmittel zu Lacken, Kitten oder auch Klebemitteln verarbeiten lassen. Bei rund 125° werden die Harze teigflüssig, biegsam und lassen sich pressen; in erkaltetem Zustande sind sie spröde. Erwärmt man sie weiter unter geeigneten Bedingungen, so werden sie bruchfest, unschmelzbar und gegen Feuchtigkeit und viele Chemikalien widerstandsfähig. So können sie als reine Schnitzstoffe zu vielen schönen Dingen verarbeitet werden. Man hat jedoch auch gelernt, die Aushärtung *zugleich* mit der Formgebung zu verbinden, indem man das noch schmelzbare pulverisierte Kunstharz in hydraulischen Warmpressen zu den gewünschten Gegenständen formt.

Harnstoff selbst, chemisch Karbamid genannt, ist uns hinreichend bekannt aus früheren Besprechungen. Ist es doch der Stoff, der sich durch Drucksynthese aus Kohlendioxyd und Ammoniak erzeugen läßt. Wir haben ihn früher als Abbauprodukt des Eiweiß im tierischen Harn und als wertvollen, durch chemische Werke jetzt synthetisch erzeugten Düngestoff kennen gelernt, der aus deutscher Kohle, Wasser und dem Luftstickstoff bereitet wird. Jetzt begegnet er uns zusammen mit Phenol und dessen nächstem Verwandten Kresol als Grundstoff für die wichtigsten Kunstharze. Unzerbrechliche Teller, Tassen, Aschenbecher, Griffe, Hörmuscheln, Wasserhähne, Füllhalter, Lagerschalen, Lampenfassungen, Tubenverschlüsse, Propeller, Billardbälle, Filmspulen, Zigarettenspitzen, Grubenhelme, Reißverschlüsse, Tischplatten, Geländer, Wählerscheiben, Bremsbacken, Kugellager, Zifferblätter, Türdrücker, Halsketten, Halter, Schirmgriffe, Kannen, Druckbuchstaben, Fotoartikel, Türbeschläge, Gehäuse, Flaschen, Klaviertasten, Taschenlampen, Kämme, Schalter, Zahnräder, die meisten Autozubehörteile — um nur weniges zu nennen aus Phenol, Kresol oder — aus Luft (!)

Ebenso häufig wie das reine Kunstharz, das man am besten als Edelkunstharz bezeichnet, bedient man sich der Kunstharz*preß*stoffe, bei denen das flüssige Kunstharz als Bindemittel für Füllstoffe oder zum Tränken von Papier- und Gewebebahnen benutzt wird, die dann unter Druck und Wärme zu den fertigen Erzeugnissen gepreßt werden. Als Füllstoffe können Asbest, Papier, Säge-

mehl, pulverisierte Erde, Baumwolle, Zellwolle und ähnliches dienen. Ford soll sogar die entölten Schalen der Sojabohne dazu benutzen.

Harnstoff läßt sich aus rein deutschen Rohstoffen in unbegrenzter Menge herstellen. Das ist beim Phenol nicht der Fall, da seine Erzeugung als Nebenprodukt der Steinkohlendestillation abhängig von der Menge des benötigten Koks ist, sich die Gewinnung also nicht beliebig steigern läßt. Harnstoff als Basis neuer Kunstharze hat diese Gefahr beseitigt.

Noch eine dritte Art von Kunstharzen weiß die Technik herzustellen. Sie bedient sich dazu des aus Kalk und Kohle gewonnenen Azetylens. Wir sind diesem Stoff schon früher einmal begegnet, nämlich als es sich darum handelte, den Stickstoff der Luft zu binden. Das tut das im elektrischen Ofen hergestellte Kalziumkarbid auch. Mit Wasser zersetzt es sich allerdings augenblicklich und sehr heftig zu dem mit sehr heißer Flamme brennenden und höchst explosiven Azetylen. Das ist ein sehr eigentümlicher Kohlenwasserstoff, der an den beiden Kohlenstoffatomen lediglich zwei Wasserstoffatome gebunden hält. Normalerweise müßten ja diese beiden vierwertigen Kohlenstoffatome, wenn sie sich mit je einer Bindung aneinander festhielten, noch jeder drei, also insgesamt sechs Wasserstoffatome fesseln können. Ja, *wenn* sie sich mit nur je einer Bindung absättigten. Früher wurde aber schon gezeigt, daß es auch *un*gesättigte Verbindungen mit *Doppel*bindungen gibt. Aus der Tetraederstruktur des Kohlenstoffs heraus mußten diese Moleküle recht unbeständig sein. Im Azetylen muß sogar eine *drei*fache Bindung zwischen den beteiligten Kohlenstoffatomen angenommen werden. Das muß natürlich nach unseren Anschauungen zu *noch* weit größeren Spannungen im Molekül führen. Das Azetylen bestätigt das. Von seiner intensiven Vereinigung mit Sauerstoff war schon die Rede. Aber auch sonst gehört es zu den umsetzungsfähigsten Stoffen der Chemie. Bei jeder nur denkbaren Gelegenheit schnellen die gespannten Bindungen auseinander, um sich mit anderen Stoffen abzusättigen, damit sie in ihre normale Richtung, nach den Tetraederecken weisend, zurückspringen können. Dieser starken Umsetzungsfähigkeit hat es das Azetylen zu verdanken, daß es einer der hauptsächlichsten Ausgangsstoffe der allermodernsten chemischen Technik geworden ist. Essigsäure, Äthylalkohol und Azeton, ein wichtiges Lösungsmittel, vermochte der Chemiker schon längere Zeit aus ihm zu gewinnen; jetzt erspart außerdem eine Reihe leicht verdampfender Lösungsmittel für schnelltrocknende Lacke, die viel Leinöl ersetzen, eine reichliche Menge Devisen. Daß die bei der Synthese auftretenden Zwischenprodukte äußerst explosiv sind, sieht man den Endprodukten zwar nicht an, hat dem darstellenden Chemiker aber seinerzeit heftige Kopfschmerzen bereitet. Dem Laien imponiert am meisten, und das mit vollem Recht, daß dieses Gas die Grundlage bildet für die Gewinnung des synthetischen Kautschuks. Davon muß noch erzählt werden. An dieser Stelle soll zunächst nur von den Kunstharzen gesprochen werden, die sich ebenfalls aus Azetylen gewinnen lassen. Hier stehen wir erst am Anfang der Entwicklung, aber die ersten großen Erfolge sind überraschend und vielversprechend für die Zukunft. Im Gegensatz zu den Kondensationsprodukten des Phenols und des Harnstoffs sind die Harze aus Azetylen Polymerisationsprodukte; d. h., daß sich mehrere Moleküle zu einem größeren zusammengeschlossen haben, ohne daß die Abspaltung eines Stoffes erfolgt ist. Diese größeren Moleküle lassen sich zuweilen wieder in ihre kleinen Bausteine aufspalten, was bei Kondensationsprodukten nicht ohne weiteres möglich ist. Bei den Polymerisationsprodukten des Azetylens ist das allerdings nicht der Fall, wie denn überhaupt der Unterschied zwischen Kondensations- und Polymerisationsprodukten nicht immer scharf ausgeprägt ist. Wenn die Erzeugung dieser Substanzen auch nicht einfach ist und die allergrößte Sorgfalt verlangt, so sind die entstandenen Stoffe doch sehr widerstandsfähig. Auch sie lassen sich in unbeschränktem Maße gewinnen. Neben alten Gebieten haben sich diese Preßlinge ganz neue erobert, ohne daß die Mehrzahl der Gebraucher überhaupt ahnt, daß es sich um Abkömmlinge des Azetylens, gewonnen aus billigem Kalk und Koks, handelt. Oder wußten sie, daß das splitterfreie Sicherheits„glas" daraus hergestellt ist oder das Plexiglas den gleichen Grundstoff zum Ahnen hat? Wollen wir hier wirklich noch von einem „Ersatz"stoff sprechen? Bei diesem Produkt, das die Durchsichtigkeit des Glases besitzt, ohne dessen ärgerliche Nachteile, die gefährliche Splitterung und leichte Zerbrechlichkeit zu teilen? Der größte Vorzug aller dieser aus Azetylen erzeugten Produkte ist die im warmen Zustande vorhandene große Biegsamkeit und Geschmeidigkeit, die sie auch zum Isoliermaterial, zu Umkleidung von Kupfer und Aluminiumdrähten, geeignet macht. In Form des Mipolams haben wir einen sehr schönen Austauschstoff, um sehr widerstandsfähige Rohre und sogar Schläuche darzustellen. Selbst Kunstleder läßt sich heute aus dem gleichen einfachen Gas C_2H_2 gewinnen.

5.

Über die neuen, unser tägliches Leben immer mehr erobernden Kunstharze soll aber nicht vergessen werden, daß wir schon jahrzehntelang ähnliche Helfer besitzen, die mangelnde oder gar zu teure Rohstoffe ersetzen. Siebzig Jahre alt ist bereits die Vulkanfiber, die nichts weiter als durch Chlorzink zum Quellen gebrachtes Baumwollpapier ist; sie hat sich als Ersatzstoff wegen ihrer Güte und Billigkeit schnell eingebürgert, so daß der echte Lederkoffer schon fast zu einem Luxusartikel geworden ist. Noch älter, rund achtzig Jahre, ist Zelluloid, das wir aber besser mit dem deutschen Namen Zellhorn bezeichnen. Allerdings ist dieser wohl älteste Kunststoff wegen seiner leichten Brennbarkeit nicht mehr so sehr begehrt. Ausgangsprodukt für die Darstellung ist ganz gewöhnlicher Zellstoff. In das Zellstoffmolekül werden zwei Reste der Salpetersäure, die einwertigen stark sauerstoffhaltigen NO_2gruppen, eingeführt. Nur, und gerade nur zwei! „Nitriert" man nämlich weiter, führt man noch eine weitere — also die dritte — ein, so bekommt man die hochexplosive Schießbaumwolle, die Tri(drei)nitrozellulose. (Der Name ist falsch und mißverständlich; denn Nitrokörper enthalten, wie das am Nitrobenzol gezeigt wurde, die einwertige NO_2gruppe. Die nitrierte Zellulose ist kein Nitrokörper, sondern ein Nitrat.) Unsere chemischen Kenntnisse sind zweifellos schon soweit gediehen, daß wir auch in der Di(zwei)nitrozellulose einen zumindest brennbaren Körper — und mit Recht — vermuten dürfen. Diese Substanz löst sich in einem Äther-Alkoholgemisch zu dem nicht ganz unbekannten Kollodium, das sich in der Wärme mit Kampfer zu einer leicht bearbeitbaren Masse, eben dem Zellhorn kneten läßt. Da Kampfer ein ausländischer Stoff ist, ist es nicht mehr als recht und billig, daß der deutsche Chemiker das Naturprodukt durch sein synthetisches ersetzt hat.

Wo irgend möglich, hat man das Zelluloid zu ersetzen versucht; aber noch manch älterer Film, manche Knöpfe und Puppen sind aus diesem Material hergestellt.

Besser in der Gunst der Masse, weil ungefährlicher, hat sich das Kunsthorn, auch Galalith genannt, gehalten. Es läßt sich leicht bearbeiten, und wir kennen diesen Ersatz für das natürliche Horn als Knopfmaterial, Regen- und Spazierstockkrücke, Schildpatt, Horngriff und vielem anderen mehr. Und wissen Sie, woraus dieser Ersatzstoff, dem aber kaum jemand den Ersatz ansieht, besteht? Aus — Milch. Oder Käse!

Die Milch enthält neben dem so sehr begehrten Butterfett auch die für die Ernährung des Säuglings unentbehrlichen Eiweißstoffe.

Läßt man die Milch mit ihrem Fett gerinnen, so kann man, nachdem die Hauptmenge Wasser entfernt ist, daraus „vollfetten" Käse gewinnen. Die entrahmte Milch, die Magermilch, enthält neben den zur Ernährung gleichfalls unentbehrlichen Salzen vor allen Dingen noch die Eiweißstoffe. Auch sie läßt sich auf ähnliche Weise zu Käse, Magerkäse, einem hochwertigen, schmackhaften und verhältnismäßig billigen Eiweißprodukt verarbeiten. Dieses Eiweiß nun, das der Chemiker Kasein nennt, kann man in gepreßtem Zustand (natürlich *bevor* es zu Käse verarbeitet worden ist) „härten" zu Galalith. Der Chemiker hat selbstverständlich dafür gesorgt, daß Geruchsattacken, wie sie von vollreifem Limburger oder Harzer Käse ausgehen, von diesem wirklich schönen Kunsterzeugnis nicht ausgeübt werden können.

6.

Wir haben nun schon allerhand Kunststoffe kennen und dabei die Geschicklichkeit des Chemikers bewundern gelernt. Sollte ich jedoch einem künstlichen Produkt die Krone reichen, so würde ich diese dem synthethischen Kautschuk zusprechen. Es mag allerdings sein, daß ich hierbei ein wenig Partei bin; habe ich doch die ersten, noch tastenden Versuche im Harriesschen Kieler Laboratorium selber mitgemacht. Das waren, weiß Gott, keine angenehmen Arbeiten, die dort vorgenommen wurden mit diesem klebrigen, dehnbaren, unglaubliche Mengen von teuren Lösungsmitteln verschlingenden Rohgummi, der sich in jeder Lebenslage wieder als der gleich schwer faßbare, unheitliche, überall und nirgends haftende Stoff erwies. Zunächst mußte er natürlich erst einmal auf seine chemische Struktur untersucht werden. Es wäre so schön gewesen, wenn dieser aus den Gummibäumen gewonnene Pflanzenkautschuk wenigstens eine einheitliche Substanz gewesen wäre! Wie Indigo oder Krapprot. Oder meinetwegen auch Rübenzucker. Dann hätte sich nach systematischem Abbau wahrscheinlich leicht ein Weg finden lassen, um den Stoff im großen wiederaufzubauen. Die Aufgabe blieb zunächst auch bei diesem widerborstigen Gesellen die gleiche. Erst zerschlagen, zurückführen auf kleinere, bekannte Spaltstücke und dann versuchen, aus diesen kleineren Molekülen auf fabrikatorischem Wege den Aufbau des größeren zu erzwingen. Nach vielen Mühen ließen sich zwei Dinge eindeutig feststellen, nämlich zum einen, daß Kautschuk aus ungesättigten Molekülen besteht und zum anderen, daß stets ein Kohlenwasserstoff, der auf den schönen Namen Isopren hört, ein Baustein des größeren Moleküls sein mußte. Isopren war damals — es war kurz vor dem Welt-

kriege — ein sehr teurer Stoff. Er wurde von Harries in seinem Geldschrank, über dessen sonstige Füllung auch nicht gerade zu klagen war, aufbewahrt. Es war kein angenehmer Geselle, dieses Isopren, das als leichtbewegliche Flüssigkeit wegen seines niedrigen Siedepunktes in zugeschmolzenen Glasflaschen aufbewahrt werden mußte. Noch heute sehe ich die entsetzten Augen eines Assistenten, der die voreilig geöffnete Flasche erst wieder zuschmelzen konnte, als der Inhalt schon zur Hälfte verdampft war. Ein Sakrileg! Und kein günstiger Beginn für eine billige Kautschukdarstellung.

Das Isopren schien sich neben seinen erlauchten kapitalistischen Genossen im Geldschrank nicht ganz wohlzufühlen. Es verdickte sich ohne weiteres Zutun mit der Zeit und ging in eine helle, weißliche, kautschukähnliche Masse über. Welche voller Stolz im Laboratorium und besonders natürlich prominenten Besuchern gezeigt werde.

Ich bin damals ein schlechter Prophet gewesen. Zwar habe ich mich wohlweislich gehütet, als junger Dachs meine ungebetene Meinung kundzutun, aber im Innern habe ich gedacht: Auf *diese* Weise wird man niemals dazu kommen, dem Naturkautschuk Konkurrenz zu machen, so interessant auch die Untersuchungen, die des verwendeten Sauerstoffs (Ozon) wegen in den Anfangszeiten sehr häufig mit einer Explosion endeten, waren.

Und doch habe ich auch in etwas Recht gehabt.

Zu gleicher Zeit arbeitete man an zweiter Stelle unter Führung von Fritz Hofmann mit einer anderen Grundsubstanz, dem Dimethylbutadiën. Da der Naturkautschuk ein durchaus unheitliches Produkt ist, darf es uns nicht wundernehmen, wenn der Chemiker durch Abwandlung der Ausgangsprodukte zum Ziele zu kommen sucht. Hofmanns Weg schien erfolgversprechender. Harries Mienen waren sehr bekümmert, als ihm ein großer Klumpen „Elberfelder" Kautschuk gezeigt wurde. Im Weltkrieg wurde das Verfahren Hofmanns mit aller Kraft vorangetrieben. Es konnte, da es noch keineswegs fabrikreif war, die gestellten Forderungen nur zum kleinsten Teile erfüllen. In der Kälte verlor das Kunstprodukt beispielsweise völlig seine Elastizität. Russischen Wintertemperaturen war es durchaus nicht gewachsen! Aber immerhin hat uns dieser erste Kautschuk im Weltkrieg über vieles hinweggeholfen.

Er ist jedoch nicht im geringsten mehr zu vergleichen mit dem ausgereiften heutigen Kunstprodukt, wie wir es im weltbekannten *Buna* vor uns haben. Die moderne Kautschuksynthese geht vom Butadiën aus.

Isopren — Butadiën — Dimethylbutadiën, das scheinen wieder

einmal Begriffe aus der Geheimsprache des Chemikers zu sein?! Es wäre zu überlegen, ob man sich in der Bewunderung des staunenden Nichtfachmanns sonnen oder den Schleier — er ist ja so dünn! — lüften soll. Ich glaube, wir lüften!

Die drei verschiedenen Ausgangsstoffe sind sehr nahe verwandt miteinander, wie untenstehende Formelbilder deutlich machen:

```
H  CH3 H   H       H   H   H   H       H  CH3 CH3  H
|   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |
C = C — C = C      C = C — C = C       C = C — C = C
|           |      |           |       |           |
H           H      H           H       H           H
```

Isopren (Monomethylbutadiën) — Butadiën — Dimethylbutadiën

Allen drei Molekülarten liegt das Kohlenstoffskelett des Butadiëns mit seinen beiden, den stark ungesättigten Charakter anzeigenden Doppelbindungen zugrunde. Beim Isopren ist eines der beiden mittelständigen Wasserstoffatome durch die einwertige $—CH_3$-(Methyl)gruppe, beim Di(zweifach)methylbutadiën zwei mittelständige, symmetrisch gelagerte Wasserstoffatome durch derartige Gruppen ersetzt worden. Die Sache ist so einfach, daß, wie ich fürchte, die Bewunderung für chemische Kunst- und Fachausdrücke stark im Schwinden begriffen sein wird.

Noch vor wenigen Jahrzehnten, ja Jahren, kannte kaum ein Berufschemiker diese merkwürdigen Kohlenwasserstoffe, die ein stilles, bescheidenes und verstecktes Leben in gelehrten Büchern führten. In der Natur waren sie frei nicht vorhanden, und wenn man sie sich, um etwa damit zu experimentieren, beschaffen wollte, kosteten sie einen Haufen Geld. Als Ausgangsstoffe für ein technisches Verfahren, das einem Naturprodukt erfolgreich Konkurrenz machen wollte, mußten diese Substanzen *billig* zu erzeugen sein. Und wir Deutschen mußten im besonderen darauf sehen, daß die Erzeugung aus eigenen Rohstoffen zu ermöglichen war, wenn wir uns wirklich vom natürlichen, tropischen Kautschuk unabhängig machen wollten.

Die mühsamen Arbeiten, in denen die Zertrümmerungsstücke des natürlichen Erzeugnisses untersucht wurden, haben ihre Früchte getragen. Nun konnte man an die Aufgabe gehen, zunächst die kleinen Spaltstücke billig herzustellen. Nach dem nicht sonderlich geeigneten Dimethylbutadiën hat man das Ziel der Kautschuksynthese über das Butadiën, auch wohl eines verwandten, Chlor enthaltenden Produktes, erreicht.

Grundstoffe für Butadiën sind Kohle, Kalk und Wasser, also alles Substanzen, die unser Vaterland in hinreichendem Maße birgt.

Durch Zusammenschmelzen von Kalk und Kohle entsteht unter dem Einfluß der hohen Temperaturen elektrischer Öfen das schon mehrfach erwähnte Kalziumkarbid, aus dem durch Wasser das uns auch nicht mehr unbekannte Azetylen gewonnen wird, welches uns bereits einmal als Lieferant schöner Kunstharze begegnet ist. Ein geschickter Chemiker kann mit dem stark ungesättigten Kohlenwasserstoff C_2H_2 so ziemlich *alles* beginnen. Das läßt sich der Kautschuksynthetiker nicht entgehen. An die freien Bindungen lagert er Wasser an und macht so einen gesättigten Stoff daraus. Trotz heftigster Gegenwehr des Moleküls zwingt er zwei von ihnen zur Kondensation. Das gibt die gewünschte *vier*atomige Kohlenstoffkette, wie sie das Butadiën besitzt. Danach wird wieder einmal der Wasserstoff zwecks katalytischer Hydrierung zu Hilfe gerufen. Aus dem so gebildeten Molekül entsteht dann durch Wasserabspaltung das heißbegehrte Butadiën. Dieser lange Weg ist zurückzulegen, um überhaupt erst einmal den Ausgangsstoff zu gewinnen. Es klappt jetzt. Und das so gewonnene Produkt ist nicht allzu teuer. Der Weg wurde natürlich erst gesucht als feststand, daß Butadiën bei geeigneter Behandlung kautschukähnliche Erzeugnisse lieferte. Die daraus herzustellen war und ist wirklich *auch* noch keine Kleinigkeit.

Butadiën polymerisiert sich in längerer Zeit zu größeren Molekülen. Wie wir wissen, treten dabei viele Moleküle zusammen. Diese Vereinigung läßt sich bei Gegenwart geeigneter Stoffe katalytisch beschleunigen. In der Technik erreicht man das durch metallisches Natrium.

Wer nicht früher bereits chemische Studien getrieben hat, wird dieses Metall kaum kennen. Es ist in seinen Eigenschaften so merkwürdig, es scheint von dem üblichen metallischen Verhalten so sehr abzuweichen, daß ich alle diejenigen Leser, die schon einmal Natrium zu Gesicht bekommen haben, bitten muß mir zu bescheinigen, daß ich nicht lüge, wenn ich jetzt von diesem merkwürdigen Stoff erzähle.

Natrium ist weich wie Butter! An frischer Schnittfläche zeigt es silberähnlichen Metallglanz, der jedoch bald schwindet und einem häßlichen, grauweißen Überzug weicht. Das Metall hat sich mit Sauerstoff zu Natriumoxyd verbunden. Natrium ist das Glanzstück für die chemische Vorlesung. In der Chemie will man als Zuhörer etwas sehen. Da soll es puffen. Oder auch knallen. Jedenfalls soll etwas Aufregendes geschehen. Natrium vermag diesem Bedürfnis zu genügen. Man braucht es nur in eine Schale mit Wasser zu tun — schon geht der Spektakel los! Es sinkt nicht

etwa, wie man das von einem Metall doch verlangen könnte, unter, sondern es rennt als silberglänzende kleine Kugel — denn vorsichtshalber haben wir nicht zuviel davon genommen — auf dem Wasser umher, wird immer weniger und verschwindet schließlich völlig. Setzt es sich allerdings auf seiner irrsinnigen Fahrt an dem Rand des Gefäßes fest, so kann es geschehen, daß eine helle gelbe Flamme aufschlägt und das Natriumstückchen explosionsartig zerplatzt. Was dem Zuschauer meistens mehr Freude bereitet als dem Experimentierenden.

Übrigens, ganz unter uns gesagt, sind diese Eigenschaften des Natriums gar nicht so ungewöhnlich; es zeigt sich hier nur das Verhalten vieler anderer Metalle in stark gesteigerter Form. Das uns so bekannte Eisen macht es nicht viel anders. Auch dieses vereinigt sich zu unserem Kummer mit Wasser zu Oxyd, dem Rost. Bei gewöhnlicher Temperatur geschieht das allerdings viel langsamer als beim Natrium.

Dieses Natrium erweist sich nun merkwürdigerweise als geeigneter Katalysator, um die Moleküle des gasförmigen Butadiëns zum Zusammenschluß zu veranlassen. Ich könnte mir angenehmere Ausgangsmaterialien denken als ein Gas und dieses temperamentvolle Metall! Der deutsche Chemiker hat diesen Prozeß gemeistert. Eine Großtat mehr zu seinen vielen anderen. *Bu*tadiën und *Na*trium haben dem synthetischen Produkt seinen Namen gegeben. Heute versteht man allerdings auch, mit weniger gefährlichen Katalysatoren das gleiche Produkt herzustellen.

Buna ist keine reine Nachahmung eines Naturprodukts. Dieses wird als eingetrockneter Milchsaft (Latex) verschiedener tropischer Bäume gewonnen. Schon beim Gerinnen des Saftes über offenem, rauchigem Feuer entsteht nicht immer der gleiche Stoff. Daher gibt es beim Naturkautschuk sehr verschiedene Güteklassen, was sich selbstverständlich auch in dem schließlichen Endprodukt, dem Gummi, auswirkt. Buna besitzt hiergegen die schätzenswerte Eigenschaft, daß es sich stets in gleicher Weise der weiteren Verarbeitung darbietet, was Industrie und Verbraucher nur befriedigen kann.

Kautschuk ist nun allerdings noch kein Gummi. Der wird erst daraus, wenn man ihn vulkanisiert. Durch seinen ungesättigten Charakter ist er nämlich imstande, was uns nicht weiter wundernehmen wird, andere Stoffe zu binden, wohl auch zum Teil nur rein physikalisch aufzunehmen. Autoreifen enthalten beispielsweise neben 3 % Schwefel bis zu 25 % Ruß. Naturkautschuk verliert nämlich ebenso wie das Kunstprodukt auf die Dauer seine Elastizität,

die geschätzteste und gesuchteste Eigenschaft. Er nimmt aus der Luft Sauerstoff auf und wird dadurch hart und spröde. Schon 1839 entdeckte man jedoch mehr zufällig nach vielen vergeblichen Versuchen, daß Behandlung mit Schwefel in der Wärme — daher der Name Vulkanisation! — ihm seine elastischen Eigenschaften erhält, ja, sogar noch verbessert. Man hat jetzt auch gelernt, ihn in der Kälte zu vulkanisieren. Erst durch diese Verfahren wird er zum Gummi, der hauptsächlich zu Schläuchen und Reifen verarbeitet wird.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß Kautschuk, wenn man ihn anstatt mit 4—6 % Schwefel längere Zeit mit etwa 30 % dieses Zusatzes behandelt, steinhart wird. Wir bekommen dadurch den Hartgummi, der sich auch manches Verwendungsgebiet erobert hat.

Trotz aller Bemühungen ist es der chemischen Großtechnik bisher jedoch noch nicht gelungen, wie wir das von früheren Erzeugnissen her kennen und schon fast gewohnt geworden sind, den Naturkautschuk im Preise zu unterbieten. Unter dem Szepter der „freien Wirtschaft", die den Preis für das natürliche Produkt bald hochhielt, bald in den Abgrund sinken ließ, wurden sogar nach dem Weltkriege die erfolgversprechenden synthetischen Versuche eingestellt. Erst in unseren Tagen, da für uns Deutsche nicht mehr der Preis, sondern die Bedeutung eines Produktes für die deutsche Wirtschaft und Wehrfähigkeit im Vordergrund des Interesses steht, sind die Arbeiten wieder aufgenommen und zu ihrem glücklichen Ziele geführt worden.

Wenn man es recht nimmt, bietet der synthetische Kautschuk gegenüber dem natürlichen auch viele Vorteile, so daß eigentlich, wenn man im Ideenkreis der freien Wirtschaft bleiben wollte, ein Mehrpreis durchaus am Platze ist. Die stets gleichbleibende Güte, eine wesentliche Erleichterung für die verarbeitende Industrie, wurde schon erwähnt. Ferner erweist sich auch, daß die Abnutzungsgeschwindigkeit des vom Chemiker erzeugten Buna wesentlich geringer ist als die des Naturkautschuks. Durch Abänderungen im Erzeugungsverfahren kann man ferner verschiedenartige Bunasorten herstellen. So hat man im Buna S ein Kunstprodukt, das viel hitzebeständiger ist als das aus Pflanzensaft gewonnene. Das ist außerordentlich bedeutungsvoll, da bei den steigenden Geschwindigkeiten der Kraftwagen gerade die an den Reifen auftretende Reibungswärme der Technik viel Sorge bereitet hat. Buna S ist deswegen nicht weniger elastisch als Naturkautschuk, hat aber außerdem den Vorteil, daß er gegen Luftsauerstoff eine geringere Empfindlichkeit aufweist.

Im Perbunan hat man schließlich noch einen synthetischen Kautschuk gezüchtet, der die von jedem Autofahrer gefürchtete Empfindlichkeit gegen die lösenden Kräfte des Benzins und Öls nicht mehr besitzt. Namentlich diese letzten Eigenschaften erschließen dem Kunstprodukt neue Anwendungsgebiete, die dem Naturkautschuk immer verschlossen bleiben werden. Auch hier stehen wir erst am Anfang. Aber eines ist gewiß: Deutschland wird sich vom Bezug des überseeischen Kautschuks freimachen. Wieder einmal hat der deutsche Chemiker seine Volkswirtschaft dem knebelnden Griff eines einstigen Weltmonopols und seiner Handhabung durch mächtegierige Männer und Staaten entzogen.

Wer will, der mag nach wie vor verächtlich von Kautschuk*ersatz* sprechen, — sofern er das mit gutem Gewissen verantworten kann.

5. Teil.

Die zweite Jugend des uralten Rohstoffes Holz

1.

Es ist eigentümlich, wie in unserer modernen Zeit die Dinge um uns zuweilen ein ganz anderes Gesicht annehmen und eine ganz andere Wertschätzung erlangen. Da sinken Stoffe, die uns unser Leben lang begleitet, und die wir für völlig unentbehrlich gehalten haben, so ganz leise in immer tieferes und dunkleres Vergessen; da platzen hinwiederum meteorgleich neugeschaffene Substanzen in unser Dasein, die, zunächst mit Mißtrauen begrüßt, schnell unsere Gunst erringen und bald nicht mehr gemißt werden möchten; und da treten schließlich die großen Entdeckungen ein, die einen längst vertrauten Gefährten, von dem man eine Überraschung nicht mehr gewärtig war, in neuem strahlendem Gesicht und Gewand zeigen, ähnlich einer Frau, die dem geliebten Manne in immer neuen Verwandlungen zu gefallen strebt.

Von der Kohle, dem einstigen Nur-Brennmaterial, welcher die heutige Industrie so manchen unentbehrlichen Stoff entzieht, ehe sie sie als Koks für Heizungszwecke freigibt, wenn sie es nicht vorzieht, diesen zur Grundlage neuer synthetischer Produkte zu machen, war bereits die Rede. Auch der schon viel früher menschlichen Zwecken nutzbar gemachte Ausgangsstoff für Kohle, das Holz, ist dabei, erst in unseren Tagen seine mannigfachen und rätselhaften Kräfte zu enthüllen. Vergangene Zeiten nahmen ihn als das, was primitive Anschauungen alleine in ihm sehen mußten und konnten: ein Endprodukt im natürlichen Aufbau des pflanzlichen

Körpers, das keine weitere chemische Verwandlung mehr erwarten ließ und somit in seiner Gesamtstruktur als Brenn- oder Baumaterial verwendet wurde. Überheblichkeit des Eisenzeitmenschen ließ noch dazu das Holz, trotz seiner kraftvollen Schönheit, als Baumaterial immer mehr und mehr zugunsten von Beton und Eisen zurücktreten. Erst heute besinnen wir uns wieder darauf, daß auch der Baumstamm hier eine bedeutungsvolle Aufgabe zu erfüllen hat. Holz aber heute zu verbrennen ist, jedenfalls für denkende Deutsche, fast schon zum Verbrechen geworden. Nur Gedanken- oder Verantwortungslosigkeit wird Holz ebenso wie Steinkohle als Heizquelle benutzen wollen. Beide Stoffe sind heute für uns Rohstoffquellen, d. h. sind Stoffe, aus denen der Chemiker diejenigen wertvollen Substanzen in seinen Fabriken gewinnt, die ein sich versagender heimatlicher Boden nicht hervorbringen kann.

Holz ist allerdings ein Begriff, der, wie fast jeder natürliche, äußerst viel- und mehrdeutig ist. Wenn von uns verlangt wird, daß wir mit Holz sparsam umgehen sollen, weil der Chemiker wieder einmal seine Verwandlungskünste an ihm üben soll, so ist damit eigentlich nur ein Teil, allerdings der Hauptbestandteil der früheren Pflanze gemeint, nämlich die Zellwand. Und in ihr wieder nur eine einzige einheitliche Substanz, die wir Zellstoff, die Chemiker auch wohl Zellulose nennen.

Für das Zellulosemolekül interessiert man sich schon lange. Es kommt übrigens nicht nur im Baumstamm vor, sondern bildet in der Baumwollfaser, die den Früchten entnommen wird, im Palmbast, in der Sisal- und Hanffaser wichtiges Rohmaterial für unsere Bekleidung. Da seine Lieferanten jedoch — leider! — meistens tropische oder zumindest subtropische Gegenden bevorzugen, müssen wir diese Lücke durch unsere eigenen Zellstofflieferanten, eben den Baum des deutschen Waldes, schließen. Das möge zunächst, ehe wir eingehender davon hören, über das Grundsätzliche gesagt sein.

Denn zuerst hat man das Zellulosemolekül aus einer ganz anderen Blickrichtung, mehr chemisch, betrachtet.

Das Zellstoffmolekül ist riesengroß. Wie groß, weiß man wieder einmal nicht. Nichtsdestoweniger kennt man jedoch seinen Aufbau ziemlich genau. Es enthält ausschließlich die drei Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, und diese merkwürdigerweise in genau der gleichen Zusammensetzung wie sämliche Zuckerarten und die Stärke auch. Wasserstoff und Sauerstoff stehen immer im Verhältnis des Wassers, also wie 2 zu 1, zueinander. Zellulose gehört somit, wie die vorgenannten Stoffe auch, zu den Kohle-

hydraten, und wir dürfen uns wieder einmal wundern, wie die Schöpfung es fertiggebracht hat, mit den gleichen Bausteinen in nur geringfügiger Abwandlung so verschiedenartige Dinge zu schaffen.

Als kleinsten Baustein der Zellulose kann man den Traubenzucker auffassen, dessen Molekül aus 6 Kohlenstoff-, 12 Wasserstoff- und 6 Sauerstoffatomen aufgebaut ist. $C_6H_{12}O_6$ schreibt der Chemiker abgekürzt dafür. Den Aufbau dieses nicht unbekannten Stoffes hat er bis in die feinsten Einzelheiten aufgeklärt. Traubenzucker kommt in Früchten, nicht nur in Weintrauben, vor, wird aber heute in großen Mengen durch Aufspaltung des Stärkemoleküls gewonnen. Als feiner Konditorzucker ist er wohl jedem bekannt; weniger bekannt dürfte sein, daß seine Süßkraft nur etwa halb so groß wie die des gewohnten Rübenzuckers ist. Viele dieser Traubenzuckermoleküle nun, mindestens zweitausend muß man annehmen, bilden lange Ketten miteinander, indem sich immer zwei benachbarte Moleküle durch Wasserabspaltung aneinander fesseln.

Damit wir uns recht verstehen: Zwei Moleküle Traubenzucker spalten zusammen nur ein Molekül Wasser ab

$$\begin{array}{c} H_2O \\ \text{— Traubenzucker —}\perp\text{— Traubenzucker —} \end{array}$$

bei *drei* Molekülen der aufbauenden Substanz sind es *zwei* Moleküle

$$\begin{array}{ccccc} & H_2O & & H_2O & \\ \text{—}\,C_6H_{12}O_6 & \text{—}\perp\text{—} & C_6H_{12}O_6 & \text{—}\perp\text{—} & C_6H_{12}O_6\,\text{—} \end{array}$$

bei *vier* Bausteinchen wären *drei* Wassermoleküle überflüssig, kurzum immer *ein* Molekül Wasser weniger als das aufgebaute Produkt Traubenzuckermoleküle enthält. Sind in der Zellulose wirklich 2000 kleine Zuckerbausteine enthalten, so müssen genau 1999 Wassermoleküle abgegeben werden.

Wenn man haarscharf und ganz genau rechnet! Man kann aber auch großzügiger sein. Ob ich 2000 Mark oder nur 1999 Mark in der Brieftasche habe, spielt im allgemeinen keine allzu große Rolle. Und so kann man wohl in großzügiger Rechnungsart, zumal es in der praktischen Auswirkung wirklich nicht von Bedeutung ist, sagen, daß das Zellulosemolekül ebensoviele Wassermoleküle zu seinem Aufbau abgegeben hat, wie es Traubenzuckermoleküle gefesselt hat. Also auf zweitausend Zuckermoleküle auch zweitausend Wassermoleküle. Oder sagen wir lieber, um uns von dieser lästigen Zahl 2000 freizumachen, die noch nicht einmal stimmt: Auf n Moleküle Traubenzucker oder Glukose sind auch n Moleküle,

rechnerisch ganz genau nur (n—1) Moleküle, Wasser ausgetreten. Der Buchstabe n soll hierbei für uns eine zwar nicht völlig genau bekannte, aber sehr große *ganze* Zahl bedeuten. Etwa 2000, oder 2448, oder noch größer. Der Chemiker wird das schon einmal herausbekommen.

Also die Formel der Zellulose lautet: n Moleküle Traubenzucker minus n Moleküle Wasser. Oder in der Sprache des Chemikers: n $C_6H_{12}O_6$ — n H_2O. Das Formelbild zeigt ganz eindeutig, daß jedes Traubenzuckermolekül ein Molekül Wasser für den Aufbau hergeben muß. Und das n mal. Dann können wir aber ebenso gut schreiben: $C_6H_{12}O_6 - H_2O = C_6H_{10}O_5$ und das daraus entstehende Resultat mit n multiplizieren. Das letzte dürfen wir allerdings nicht vergessen. Die Formel der Zellulose ist somit $(C_6H_{10}O_5)$ n. Die Zusammensetzung *in* der Klammer findet der Chemiker, wenn er das Zellstoffmolekül mit seinen erbarmungslosen Apparaten seziert. Die Zahl n ist bisher, ich wiederhole das lieber noch einmal, unbekannt, darf aber keinesfalls bei der Angabe der Formel vergessen werden.

Um Einblick in das Zellulosemolekül zu erhalten, ist man in Wahrheit gerade den umgekehrten Weg gegangen. Es ist ja immer so, daß Zerstören und Zerschlagen sehr viel einfacher ist als Aufbauen. Meine jugendlichen Versuche mit der schwesterlichen Puppe, deren Augendeckel-Klappmechanismus zwar ebenso wie der sägespänegefüllte Bauch hochinteressant war, aber dafür auch synthetischen Versuchen gegenüber sich als äußerst renitent erwies, haben mir das schon frühzeitig „schlagend" bewiesen. *Aufbauen* können wir das Zellulosemolekül bis heute noch nicht, wohl ist uns aber die Zerkleinerung bis zum Baustein Traubenzucker möglich. Theoretisch liegt die Sache höchst einfach. Wir brauchen ja nur das Zellstoffmolekül zu zwingen, an geeigneten Spaltstellen, nach je sechs Kohlenstoffatomen, Wassermoleküle aufzunehmen. Hydrolyse — von hydor (griechisch) Wasser — und lysis, Lösung — nennt der Chemiker eine derartige Aufspaltung.

Schon seit langem war bekannt, daß die Papierfabrikation, die sich des Holzes als Rohstoff bedient, bei der Entfernung der unnützen und schädlichen Zellstoffbeimengungen einen Teil der Zellulose zu Traubenzucker abbaut. Das Wissen darum war gut. Unseren Tagen kommt es jedoch auf eine Umsetzung auch des letzten Zellstoffmoleküls an. Nach Mitteilung von Bergius, der sich nach seinen erfolgreichen Arbeiten zum Aufbau des synthetischen Benzins nunmehr diesem neuen Arbeitsgebiet zugewandt hat, ist das jetzt völlig gelungen. Das aus dem Holze gewonnene Hauptprodukt

ist natürlich Traubenzucker, roher Holzzucker. Es würde dem Chemiker nicht schwer fallen, diesen auch menschlichen Bedürfnissen durch Reinigung anzupassen. Zu Süßzwecken haben wir aber genügende Mengen des wirkungsvolleren Rübenzuckers zur Verfügung, und auch als Brennstoff für unseren Körper, anstatt Stärke, können wir auf dieses Kohlehydrat verzichten, — jedenfalls auf den direkten Genuß. Im rohen Holzzucker steht uns nämlich ein außerordentlich wertvolles Futtermittel, insbesondere für Schweine zur Verfügung, das uns von überseeischem Import teurer Futtermittel freimachen kann und die Gewinnung von Fett — über das Tier — aus eigenem Rohstoff gestattet.

Der früher als Nebenprodukt bei der Papierfabrikation auftretende Traubenzucker war nicht direkt zu verwerten, da seine Verunreinigungen das nicht zuließen. Aber vergären, d. h. Alkohol daraus gewinnen, konnte man wenigstens. Natürlich wollte man ihn nicht trinken, dazu hatte man edlere Herstellungsmethoden; aber für technische Zwecke war der so gewonnene Sprit sehr wohl zu verwenden. Auch heute wird ein großer Teil des erzeugten rohen Holzzuckers vergoren. Das bedeutet eine weitere, kräftige Zerkleinerung des Glukosemoleküls. Und dazu fordert der Mensch immer noch die Mitwirkung kleinster Lebewesen, der Hefezellen, auf, weil sie das viel einfacher, schöner, zuverlässiger und mit viel geringerem Arbeitsaufwand erledigen als jeder chemische Apparat.

Wie jedem Lebewesen sind auch den Hefezellen die beiden Haupttriebe Fressen und Vermehrung mitgegeben. Beim Freßvorgang sondern sie in geringer Menge merkwürdig wirkende Stoffe, Enzyme oder Fermente genannt, ab, die den bei der menschlichen Ernährung wirkungsvollen Vitaminen oder Hormonen ähneln. Man kann sie auch wohl mit den in der Technik viel benutzten Kontaktstoffen oder Katalysatoren vergleichen, weil nämlich schon geringe Mengen von ihnen ausreichen, um Stoffe zu verändern. Ihre Mitwirkung ist dabei nach außen hin nicht sichtbar. So zersetzt ein von der Hefe erzeugtes Ferment den Zucker, ohne daß die Hefezelle selber etwas von ihm verbraucht. Aus einem Molekül Traubenzucker erzeugt sie genau zwei Moleküle Äthyl-, den gewöhnlichen Trinkalkohol, sowie ebensoviele Moleküle Kohlendioxyd, das gasförmig zu entweichen strebt. Woran man es nicht hindern soll, da es sonst das einengende Gefäß todsicher sprengt. Das Formelbild für diese Zersetzung ist höchst einfach:

$$C_6H_{12}O_6 = 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$$

1 Mol. Traubenzucker 2 Mol. Alkohol und 2 Mol. Kohlendioxyd.

Mißtrauische mögen nachzählen, ob die Anzahl der Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome der linken Seite mit denen der rechten übereinstimmt. Wer das nicht will, mag sich mit meiner ehrenwörtlichen Versicherung begnügen, daß es stimmt.

Es wäre natürlich zu viel verlangt, wenn wir erwarten, daß die Hefezelle diese für den Menschen so erwünschte Arbeit umsonst verrichtet. Die Zelle will leben. Und dazu braucht sie Nahrung. Zucker verschmäht sie dabei sonderbarerweise. Reine Zuckerlösung ist mit keinerlei Gewalt durch sie in Gärung zu bringen. Das ist eigentlich auch zu verstehen, denn das Zuckermolekül besitzt ja nicht dasjenige Element, das zum Aufbau einer lebenden Zelle, deren Inhalt vorwiegend aus dem stickstoffhaltigen Eiweiß besteht, nötig ist. Dieses findet die Hefe normalerweise in jeder mit Zucker beladenen Frucht, und dieses fremde Zelleiweiß verwertet sie zu ihrem eigenen Aufbau. Der Mensch hat es sogar verstanden, die Hefezelle ein klein wenig dabei zu betrügen; denn er hat herausgefunden, daß auch einfachere stickstoffhaltige Moleküle-arten, als sie die Eiweißstoffe darstellen, von der Hefe zum Zellaufbau benutzt werden. Es ist also auf diesem biologischen Wege möglich, die Hefe nach zweierlei Richtungen für menschliche Bedürfnisse wirken zu lassen. Einmal kann sie für uns den aus Holz gewonnenen Zucker in Alkohol umwandeln, und zum zweiten liefert sie uns dadurch, daß sie sich bei diesem Prozeß stark vermehrt, mit ihrem Zellinhalt ein überaus wertvolles Eiweißfuttermittel. Schon früher haben wir gehört, daß gerade die Verbreiterung der Eiweißbasis eines der erstrebenswertesten Ziele der deutschen Wirtschaft ist. Hier sehen wir einen Weg, diese Aufgabe zu einem guten Teile zu lösen.

Durch Abwandlung des Gärvorganges gelingt es ferner auch Glyzerin, das ja bei der synthetischen Fettbereitung unbedingt vonnöten ist, in größerem Maße als bei der normalen Gärung zu erzeugen. Selbst die von jedem Bierbrauer so sehr gefürchtete Milchsäuregärung — wer wollte wohl anstatt eines schönen, kühlen Glases Bier eine Milchsäurelösung vorgesetzt erhalten? — kann die Technik natürlich anderen menschlichen Bedürfnissen nutzbar machen. Daß bei der Verzuckerung des Holzes selbstverständlich die in ihm enthaltenen wertvollen Gerbstoffe und Harze nicht einfach fortgeworfen werden, versteht sich am Rande; mußten wir doch in Jahren des Friedens beide zum größten Teil aus dem Auslande beziehen.

2.

Wenn in dem vorigen Abschnitt von dem chemischen Aufschluß des Holzes gesprochen wurde, bei dem sich ganz anders geartete, wertvolle Stoffe gewinnen ließen, so darf doch keinesfalls vergessen werden, daß schon viele, viele Jahrhunderte vorher das Zellstoffmolekül als solches, unverändert, von der Menschheit genutzt wurde. Und gerade diese uralte Verwendungsart ist es, die uns heute, da wir dafür neuartige Anwendungsgebiete gefunden haben, ganz besonders interessiert.

Der Zellstoff der Papyrusstaude diente schon im Altertum dazu, um Aufzeichnungen zu machen. Mit Faserbrei zur Papierherstellung arbeiteten vor 3000 Jahren bereits die Chinesen. Auch heute verfahren wir noch auf die gleiche Weise, nachdem dieses so hergestellte Papier das aus Tierhäuten erzeugte Pergament im Mittelalter mehr und mehr verdrängte. Allerdings bestand dieser Faserbrei aus zerrissenen Leinen- und Baumwollumpen und war zum Schreiben erst richtig geeignet, als deutsche Papiermacher die Leimung mit Harz und Alaun erfunden hatten. Der nachlässige Arbeiter, der zur größten Entrüstung des Fabrikanten einmal den Leimzusatz vergessen hatte, erfand so ganz nebenher das saugfähige Löschpapier.

Für den immer schneller steigenden Bedarf an Papier reichten aber sehr bald die verbrauchten Gewebe nicht mehr aus. So viele Lumpen gibt es auf der ganzen Welt ja nicht! So mußte denn immer mehr der Zellstoff, den der deutsche Baum erzeugt, als neuer Rohstoff herangezogen werden.

Eigentlich geht den Chemiker, der seine ganze Kraft der *Veränderung* der Moleküle zuwenden soll, die Gewinnung dieser Zellulose aus dem deutschen Wald nur wenig an. Und auch die Herstellung des Papiers ist ein rein physikalischer Vorgang, da dem Faserbrei nur in geeigneter Weise das Wasser zu entziehen ist. Und doch kann der Papierfabrikant der Arbeit des Chemikers nicht entraten. Wohl findet sich der Zellstoff, so wie er später benutzt werden soll, fertig vorgebildet im Stamm, in besonders geeigneter Form vor allen Dingen in den Nadelhölzern. Nur ganz wenige Pflanzen enthalten jedoch die Zellulose ohne wesentliche Beimengungen, wie etwa die Baumwolle. Die Aufgabe des Chemikers besteht nun darin, die unnötigen und schädlichen Stoffe zu beseitigen, um die Zellulosefaser in möglichst reiner Form den Papierfabriken zur Verarbeitung zuzuleiten. Allerdings kann man sich die Mühe leicht machen und den Holzschliff, der durch Schleifen von Holz an Schleifsteinen in Gegenwart von Wasser erhalten

wird, sofort zur Papierbereitung benutzen. Diese Papierarten haben aber die unangenhme Eigenschaft, daß sie gelb und mit der Zeit brüchig werden, was jeder von uns an seinen alten Zeitungen wohl einmal schon festgestellt hat. Die feineren, nicht vergilbenden Papiere werden jedoch aus fast reinem Zellstoff hergestellt, den der Chemiker von seinen Beimengungen mit recht kräftigen Maßnahmen befreit hat. Dabei wird sogar, wie wir bereits gehört haben, ein Teil des Zellstoffmoleküls zu Traubenzucker aufgespalten.

Will der Chemiker einen festen Stoff rein herstellen, ihn von seinen Beimengungen befreien, so stehen ihm dafür zwei Wege zur Verfügung. Einmal kann er die *Verunreinigungen* herauslösen, wenn nicht anders, indem er sie in lösliche Form bringt und dann auswäscht, wie das bei der Papiergewinnung aus Holz gezeigt wurde; zum anderen kann er die *gewünschte feste Substanz*, und nur diese, aus den Beimengungen herauslösen und durch geeignete Mittel dann die Rückgewinnung aus der Lösung versuchen. Die ersten Untersuchungen, die sich ein neuer, unbekannter Stoff gefallen lassen muß, erstrecken sich infolgedessen fast immer auf seine Löslichkeit in den verschiedensten chemischen Flüssigkeiten. Am einfachsten liegt der Fall, wenn sich der Stoff in Wasser löst, wie das z. B. für Kochsalz und Zucker zutrifft. Der Zucker etwa läßt sich so aus der zerkleinerten Rübe sehr leicht herausziehen. Die konzentrierte Lösung scheidet dann beim Eindampfen das gesuchte Produkt wieder ab. Schwieriger sind schon Fette in Lösung zu bringen, was so mancher unerwünschte Fleck auf der Kleidung beweist. Wir versuchen gar nicht erst, ihn mit klarem Wasser zu beseitigen, da wir bereits vorher von der Aussichtslosigkeit dieses Verfahrens überzeugt sind. Männliche Kleidung verträgt vielleicht Mittel, wie sie Laugen in Form von Seife oder Ammoniak (Salmiakgeist) darstellen, wobei dem Ammoniak der Vorzug zu geben ist, da der Überschuß verfliegt und so nicht, wie die nichtflüchtige Natronlauge der Seife, zerstörend auf den Stoff wirken kann. Denn schließlich soll ja nur das an die unrechte Stelle geratene Fett und nicht das Kleidungsstück beseitigt werden. Feinere und zartere Gewandungen jedoch, wie sie die Glieder unserer edlen Lebensgefährtinnen mehr oder weniger umhüllen, vertragen schon diesen nicht gar zu harten chemischen Angriff auf die feindliche Bratentunke häufig nicht. Denn um eine chemische Umsetzung handelt es sich dabei allerdings, da die Fette durch Laugen in andere, lösliche Stoffe, nämlich Seifen, übergeführt werden.

Empfindliche und sehr stark verunreinigte Kleidung gibt man infolgedessen besser zur „chemischen Reinigung". Die „chemische

Reinigung" heißt wahrscheinlich so, weil sie physikalisch und gerade *nicht* chemisch reinigt. Durch das Bürsten mit einer Laugenlösung haben wir selber zu Hause versucht, den Fettfleck chemisch zu entfernen. Die „chemische Reinigung" hingegen macht sich das Verhalten von Benzin, Äther, Tetrachlorkohlenstoff und anderer leicht flüchtiger Substanzen zunutze, die imstande sind, Fette ohne Veränderung zu lösen und somit die Kleidung von den unbeliebten Flecken zu befreien. Also auch für Fette gibt es geeignete Lösungsmittel.

Für eine große Anzahl von Stoffen jedoch vermag der Chemiker kein Lösungsmittel anzugeben oder doch nur eines, das sich in der Praxis als nicht sehr geeignet erweist. Oder kann ein vernünftiger Mensch etwa damit zufrieden sein, wenn der Chemiker zur Beseitigung von Rußflecken das Lösen in flüssigem Eisen vorschlägt? Für Kohlenstoff *gibt* es aber wenigstens ein Lösungsmittel, das ein begabter Praktikus sogar dazu benutzt hat, um ihn daraus in Form von kleinen Diamanten zurückzugewinnen, für Zellulose jedoch läßt sich keine lösende Flüssigkeit, und sei sie auch noch so seltsam, finden, welche das Molekül unzersetzt in sich aufnimmt. Da muß man schon Umwege einschlagen, wie sie etwa der französische Graf Hilaire de Chardonnet 1889 zuerst machte.

Das Zellstoffmolekül wird nämlich geeigneten Lösungsmitteln gegenüber schwach, wenn man es nur ein wenig in seinem Aufbau ändert, etwa „nitriert", d. h. einwertige NO_2 Reste der Salpetersäure in das Molekül einführt. Wir hörten schon früher davon, daß zwei derartig in das Molekül gebrachte Gruppen die Dinitrozellulose liefert, die in einem Gemisch von Äther und Alkohol zu Kollodium zu lösen ist. Damals erfuhren wir auch davon, daß Kollodium mit Kampfer vermischt Zelluloid oder Zellhorn liefert.

Chardonnet preßte nun das Kollodium durch sehr, sehr feine Öffnungen in ein Bad, das dem hineingleitenden zähen, dünnen Faden wieder die mühselig hineingebrachten NO_2gruppen entzog, also die ursprüngliche Substanzart, nämlich die Zellulose, zurückgewann. Der Zellstoff schied sich dabei in glatter glänzender Form wieder ab. Mehrere derartige zusammengedrehte Fäden konnten sogar wohl, wenn man sie nicht ganz genau untersuchte, für den Spinnfaden der Seidenraupe gehalten werden. Die erste Kunstseide war entstanden!

Sie war zuweilen nicht sehr angenehm zu handhaben in ihrem Anfangsstadium, diese Kunstseide. Nicht immer gelang es zuerst, dem Zellstoffmolekül den gesamten listig hineingebrachten Stickstoff der Salpetersäure wieder zu entziehen. Aber die geringste

Menge daringebliebener NO_3 Reste machte die Kunstseide zu einer Substanz, die chemisch nicht weit entfernt war von einem so gefährlichen Stoff, wie es die Schießbaumwolle ist. So konnte es anfänglich wohl geschehen, daß die kunstseidene Krawatte oder gar das Kleid schon durch den Funken einer Zigarre oder Zigarette explosionsartig verbrannte. Späterhin wußte man die Fabrikation besser zu meistern, so daß derartige Unfälle vermieden wurden. (Es sei gleich bemerkt, daß die Herstellung der heutigen Kunstseide auf ganz andere Weise geschieht, so daß derartige Gefahren nicht mehr auftreten können.)

Die Chardonnetsche Kunstseide mußte damals auf die Abfälle der Baumwolle als Ausgangsmaterial für das Zellulosemolekül zurückgreifen. Die Bezeichnung „Schießbaumwolle" zeigt das sehr deutlich an. Das Zellstoffmolekül war vor und nach der gewaltsamen Behandlung durch den französischen Grafen, chemisch gesehen, zwar genau das gleiche geblieben, physikalisch hatte es sich jedoch in seiner Struktur wesentlich zu seinen — sprich: unseren — Gunsten verändert. Aber wie gesagt: Nur der Zellstoff der Baumwolle ließ damals die gewünschte physikalische Änderung zu. Für den Anfang genügte das ja.

Freilich ist der Name „Kunstseide" für dieses Produkt zumindest irreführend. Denn mit echter Seide hat dieses Erzeugnis nicht das geringste zu tun, obwohl es vielleicht noch heute zuweilen für die gewollte Nachahmung des Fadens der Seidenraupe gehalten wird. Mit dem hat es jedoch nur den allerdings oft täuschend ähnlichen Glanz gemeinsam. Der Seidenfaden der Raupe besteht nämlich als tierisches Produkt ebenso wie das Wollhaar des Schafes aus Eiweißsubstanzen, also Molekülarten, die außer den drei Elementen der Zellulose Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff auch noch Stickstoff enthalten. Kunstseide kann also niemals gleich Seide gesetzt werden; beide Stoffe sind eben chemisch völlig anders geartet. Das weiß auch die geschickte Hausfrau ganz genau. Äußerlich läßt sich einem Gewebe sehr häufig nicht ansehen, woraus es besteht. Eine kleine Prüfung kann dem Kaufenden aber leicht weiter helfen. Baumwoll- und Kunstseidefäden verbrennen, wenn man sie etwa in die Flamme eines Streichholzes bringt, ohne Rest, während die tierischen Fasern einen verkohlten Rückstand, der nicht gerade angenehm riecht, hinterlassen.

Heute wird keine Kunstseide mehr nach dem Chardonnetverfahren hergestellt. Es bleibt aber das Verdienst des Erfinders, der Technik den Weg für die Verwendung der Zellulose als Textilfaser gewiesen zu haben.

Denn darüber müssen wir Deutsche uns klar sein: Man spricht zwar viel von denjenigen Produkten, mit denen in der Ernährung sparsam umgegangen werden muß, — und das ist ja auch natürlich, weil die Ernährung eben das Primäre für jedes pflanzliche und tierische Wesen bedeutet —, die Spinnstoffnot wäre für unser Vaterland aber mindestens ebenso groß, wenn die Technik nicht wieder mit neuen Schöpfungen helfend eingriffe. Auf einem stark genutzten Boden, dem möglichst die gesamte Nahrung eines ganzen Volkes entnommen werden soll, läßt sich die Schafzucht zur Wollgewinnung und der Faserpflanzenanbau natürlich nur geringfügig steigern. (Selbstverständlich müssen aber auch alle irgend möglichen Gelegenheiten genutzt werden.) Bei einem Bedarf von rund einer Million Tonnen Faserstoffen konnte Deutschland im Jahre 1938 nur gut ein Viertel selber erzeugen. Da darf man sich nicht wundern, wenn seit dem Jahre 1939 der Verbrauch, der noch dazu für das Heer gewaltig gestiegen ist, scharf überwacht wird. Und wenn der deutsche Chemiker nicht schon vor Jahren den neuen zu beschreitenden Weg gezeigt hätte, könnte die Spinnstoff*knappheit* tatsächlich zu einer Spinnstoff*not* werden. Die Kunstseidenindustrie vermochte dabei zu helfen, wenn sie auch nicht die *Lösung* bringen konnte. Immerhin ist aber auch hier von Interesse, daß 1900 die Naturseide noch zu $^7/_8$ am gesamten Seidenverbrauch beteiligt war. 1938 aber wurde schon über zehnmal soviel Kunstseide gewonnen wie Naturseide, und es besteht gar kein Zweifel, daß diese Steigerung sich lawinenartig fortsetzen wird. Zumal, wenn der äußere Druck sich verstärkt und Deutschland überseeische Märkte für Baumwolle nicht mehr offen stehen.

Unser Vaterland hat dabei allerdings Versäumnisse nachzuholen, denn andere in gleicher Not befindliche Länder, wie Japan und Italien, haben schon früher und energischer versucht, teilweise sogar mit deutschen Patenten und Erfindungen, sich unabhängig von fremder Faser zu machen. Heute wandeln auch die rohstoffreichen Länder auf dem Weg der armen Habenichtse. Auch das für seine Wolltuche berühmte Albion verbraucht z. B. riesige Mengen Kunstfaser.

Die wird nun allerdings nicht mehr nach dem französischen Rezept hergestellt. Und auch nicht mehr aus Zellulose der Baumwolle. Für Länder der gemäßigten Zone gewinnt man den Rohstoff aus dem Baum. Zwar lassen sich noch nicht alle Baumarten benutzen, aber schon heute versteht man es, außer den in Deutschland am häufigsten vorkommenden Nadelhölzern auch die Buche

zu verwerten. Natürlich auch und vor allen Dingen das minderwertigste Holz.

Auf die Mitwirkung der gefährlichen Salpetersäure Chardonnets hat man verzichtet, um die Zellulose in Lösung zu bringen, doch ist *grundsätzlich* der technische Weg der gleiche geblieben. Da das Zellstoffmolekül nicht direkt zu lösen ist, verändert man es in seinem Aufbau und bringt es dadurch dazu, menschlichen Wünschen gegenüber gefügiger zu sein. Drei Möglichkeiten hat die Industrie herausgefunden, um dem Molekül ihren Willen aufzuzwingen. Und alle Möglichkeiten werden ausgenutzt, um Kunstseide darzustellen. Die Gefahren des ursprünglichen Endprodukts sind verschwunden. Die heutige Zellstoffaser kann auch in Raucherabteilen getragen werden.

Für den Fabrikchemiker sind die auf die Zellulose einwirkenden Substanzen freilich nicht alle sehr erfreulich. 90 % aller Kunstseiden verdanken der Viskose (viskos = klebrig) ihre Entstehung. Sie wird durch Behandlung von Natronlauge — jener stark ätzenden, der Hausfrau als Seifenstein bekannten Substanz — und Schwefelkohlenstoff hergestellt. Auch dieser letzte chemische Gehilfe ist den meisten nicht unbekannt. Leider Gottes riecht er heftig. Zwar darf man ihn nicht für den Geruch faulender Eier verantwortlich machen, was häufig geschieht, aber auch Lokomotivrauch kann sehr übel riechen. Und hieran ist Schwefelkohlenstoff, bei gewöhnlicher Temperatur eine ölig bewegliche, leicht siedende, sehr feuergefährliche, Fette gut lösende, infernalisch stinkende Flüssigkeit schuld. Diesen beiden Gesellen nun, der Natronlauge im Verein mit dem Schwefelkohlenstoff, vermag das Zellstoffmolekül nicht zu widerstehen. Es bildet sich eine Verbindung, deren Lösung in Natronlauge oder Wasser sirupartige Beschaffenheit aufweist. Es ist die Viskose. Sie wird durch feine Düsen (Öffnungen) von 0,05—0,2 Millimetern in ein säurehaltiges Fällbad gedrückt, in dem das ursprüngliche Zellulosemolekül wiederhergestellt wird. Man gewinnt so eine sehr gute, nicht feuergefährliche Kunstseide.

Ein weiteres, zweites von der Technik angewandtes Lösungsmittel für Zellstoff ist auch so seltsam, daß man dem Chemiker keinen Vorwurf machen kann, wenn er es erst nach langjährigen Untersuchungen entdeckt hat. Löst man Kupfersalze in wässeriger Ammoniaklösung, so entsteht eine wunderschön gefärbte, tiefblaue Flüssigkeit, in der die Zellulose sich auflöst. Die Vorgänge scheinen dabei ziemlich kompliziert zu sein, interessieren den Techniker jedoch weniger, da Zusatz von Säure ihn das reine, spinnfähige Zellstoffmolekül in festen, seidenartigen Fäden zurückgewinnen

läßt. Diese Kupferseide dürfte vornehmlich den Damen als „Bembergseide" bekannt sein.

Bei den jahrzehntelangen Versuchen, den Zellstoff irgendwie löslich zu machen fand man, daß auch wasserfreie Essigsäure sich zu diesem Zweck verwenden ließ. Allerdings muß hierbei gesagt werden, daß es sich dieses Mal nicht um eine einfache Rückgewinnung der Zellulose handelt, sondern die von der Essigsäure bewirkte Änderung wird beibehalten. Der harmlosen Essigsäure, die ja jeder aus dem Haushalt kennt — und dort kann man natürlich nur schwache, relativ unschädliche Stoffe verwenden — scheint man eine solche Kraft der Molekülveränderung gar nicht zuzutrauen. Vielleicht tun wir das schon eher, wenn wir hören, daß dort nur eine höchstens dreiprozentige Lösung verwendet wird. Hochkonzentrierte, oder gar wasserfreie Essigsäure, die übrigens schon bei 16 Grad fest ist und dabei, wie sich jedermann aus dem Literpreis des Speiseessigs ausrechnen kann, keineswegs eine billige Säure ist, ist dazu schon viel eher fähig.

Die Verbindung beider, das Zellstoffazetat (von acidum *aceticum* = Essigsäure), läßt sich nun leicht in mancherlei dem Chemiker wohlbekannten Flüssigkeiten lösen. Befreit man das Zellstoffazetat von seinem Lösungsmittel, was dadurch geschehen kann, daß man die Lösung in Wasser oder auch nur in Luft preßt, so scheidet sich die gelöste Substanz wieder aus. Zwar haben wir nach wie vor Zellstoffazetat behalten, dieser völlig ungefährliche Stoff unterscheidet sich in seinen physikalischen Eigenschaften jedoch so wenig von dem ursprünglichen Zellstoff, daß man ihn ebenfalls zur Kunstseidenbereitung verwenden kann und verwendet. Wir wollen uns aber darüber klar sein, daß diese Azetatseide chemisch etwas anderes bedeutet als Viskose- oder Kupferseide, die beide ja aus reinem Zellstoff bestehen.

Kunstseide hat gegenüber der natürlichen Textilfaser einen großen Nachteil. Sie wärmt nicht sehr. Bei dem hübschgemusterten Binder spielt das zwar keine entscheidende Rolle, aber bei einem Kleid und noch vielmehr bei Unterwäsche wäre ein größerer Wärmeschutz doch sehr erwünscht. Der Techniker sucht selbstverständlich das verschiedenartige Verhalten der Fasern zu erkunden. Das Mikroskop hilft ihm dabei. Dieses scharfe Auge erkennt sofort, daß der kunstseidene Faden, der beliebig lang erzeugt werden kann, eine vollkommen glatte, fast glasig wirkende Oberfläche besitzt. Wolle dagegen hat eine schuppige Struktur und ist innen hohl. Und das ist die Ursache für das verschiedene Verhalten der beiden Faserarten.

Meistens überschätzt man seine Freunde. Dabei gibt es aber

solche, die man kaum auf der Rechnung hat, welche aber, in der Not gerufen, sich als unsere treuesten Gefährten erweisen. Zu ihnen gehört die uns umgebende Luft.

„Nun ja," wird man sagen, „selbstverständlich weiß ich, daß ohne Luft jedes Leben auf diesem mehr oder weniger schönen Erdball unmöglich ist, da jedes Wesen, auch die Pflanze, unbedingt atmen muß".

Das ist richtig. Über Selbstverständlichkeiten pflegen wir eigentlich leider immer erst zu reden, wenn uns das für gegeben Gehaltene genommen werden soll. Auch in anderen Fällen, nicht nur bei der Luft. Wo es sich allerdings wohl am unliebsamsten bemerkbar macht.

Ohne Luft würden wir aber auch erfrieren. Und nicht nur wir, sondern die Pflanzen- und Tierwelt der gemäßigten und natürlich erst recht der kalten Zonen mit uns. Luft ist, wie alle Gase, nämlich ein schlechter Wärmeleiter. So verhindert z. B. das zwischen den Doppelfenstern festgehaltene Gas, daß die im Zimmer erzeugte Wärme sich schnell nach außen verliert. Die Schneeflocke, die mit der eingehüllten Luft die Saat zudeckt, sie so warm hält und ein Ausfrieren vermeidet, ist der winterliche Gehilfe des Bauern, der nichts so sehr fürchtet wie einen langdauernden Frost ohne die schützende Schneedecke. Auch die von uns selber erzeugte Körperwärme, die sich im Winter fünfzig und mehr Celsiusgrade oberhalb der Außentemperatur befinden muß, läßt sich nur durch wärmende Hüllen aufrecht erhalten. Die Kleidung erzeugt natürlich keine Wärme, aber das Gewebe schließt Luft in sich ein und verhindert so die allzu rasche Wärmeabgabe. Wir wissen alle, daß Wolle und vor allen Dingen etwa die Daunen im Federbett besonders gut diesen Zweck erfüllen. Sie tun das, weil sie viel Luft in sich einschließen. Und das können sie, weil sie nicht glatt, sondern gekräuselt und schuppig und so imstande sind, recht viel von dem leichten, luftigen Gefährten festzuhalten.

Die Kunstseide kann das nicht. Aber selbstverständlich ist versucht worden, ihr auch diese geschätzte Eigenschaft zu verleihen. Der Weg dafür fand sich in der natürlichen Faser ja vorgezeichnet. Die ersten, von der Not befohlenen Versuche im Weltkriege waren allerdings nicht gerade ermutigend. Heute jedoch sind die damaligen Schwierigkeiten überwunden. Jetzt liefert uns die Technik zahlreiche Produkte, die durchaus imstande sind, mit der Wolle zu konkurrieren, ja, sie wohl in einigen Eigenschaften sogar zu übertreffen. Wir sind stolz auf unsere *Zellwolle!*

Im chemischen Sinne ist es natürlich keine Wolle, da diese ja als tierisches Erzeugnis eine eiweißhaltige Substanz ist, während Zellwolle im Grunde genommen nichts anderes als Kunstseide, freilich mit geänderten physikalischen Eigenschaften, ist. Wenn wir trotzdem von Zell*wolle* sprechen, so deshalb, weil wir mit ihr die geschätzteste Eigenschaft des Wollhaares, seine die Wärmeabgabe verzögernde Fähigkeit nachzuahmen bestrebt sind. Schon einmal sind wir dabei in der Namensgebung nicht ganz wählerisch gewesen, als wir die Zellulose aus der Samenkapsel der Baumwollpflanze als Baum*wolle* bezeichneten. Heutzutage könnten wir jedoch wenigstens unserem Kunstprodukt ohne zu erröten den Vornamen „Baum" erteilen; die Baumwollpflanze stellt hingegen ja nur eine Staude dar. Aber während in früheren Zeiten der Name *Baum*wolle im täglichen Vokabelschatz kaum zu besonderen Sensationen Anlaß gab, hatte die Industrie gegen das menschliche Vorurteil schwer zu kämpfen, als sie den Zellstoff, wie die Baumwolle durch ihren Namen *fälschlich* versprach, nun *wirklich* dem Baumstamm entnahm.

So einfach, wie es hier ein paar Worte aussprechen, war es natürlich nicht, dem Kunstseidefaden wärmende Eigenschaften zu verleihen. Mit dem Erfolg können wir jedoch vollauf zufrieden sein. Das wird vor allen Dingen wieder einmal die deutsche Frauenwelt bestätigen können, die z. B. im Jahre 1936 nicht weniger als 51 Millionen Meter der schönen, bunten Zellwollmusseline gekauft hat. Das bedeutet für *jede* deutsche Frau nahezu zwei Meter! Der Unterschied gegenüber kunstseidenen Erzeugnissen ist augenfällig. Die Technik versteht es jetzt, die in 3—20 Zentimeter zerschnittenen Kunstseidefäden, die damit die Länge der natürlichen Wollhaare und Baumwollfäden bekommen, äußerlich anzurauhen oder wohl gar hohl darzustellen, so daß sie imstande sind, die Luft festzuhalten. Die Naturprodukte Wolle und Baumwolle kann man nur wenig in ihren gegebenen Eigenschaften verändern, der Zellwolle dagegen sucht man immer noch bessere mitzugeben. Sie ist heute knitterfest und wasserabstoßend. Im Gegensatz zur Wolle, von der jede Hausfrau weiß, daß sie Kochen überhaupt nicht verträgt, in der Wäsche, wenn man nicht ganz vorsichtig zu Werke geht, einläuft und filzt, verträgt Zellwolle heißes Wasser bedeutend besser, ohne die ihr mitgegebene Kräuselung dabei zu verlieren. Auch die so sehr geschätzte wasserabstoßende Eigenschaft der Wolle vermag man dem Kunstprodukt zu verleihen, während Baumwolle dieses Verlangen nie zu befriedigen gewußt hat. Es ist ja meistens so, daß ein in früheren Zeiten verwendetes Produkt,

durch die Erinnerung verklärt, sehr leicht den Nimbus eines Idealstoffes annimmt. Wir müssen uns aber darüber klar sein, daß z. B. Wolle auch große Nachteile besitzt. Ihre Haltbarkeit ist, gemessen an anderen Textilfasern, doch nur recht gering. Die Zerreißfestigkeit der Zellwolle ist erheblich größer als die des Naturprodukts und verleiht ihr infolgedessen eine erheblich längere Lebensdauer. Schon lange trägt die Herrenwelt keine reinwollenen Anzüge mehr. Selbst in England und Amerika, die beide Zellwolle importieren, nicht mehr. Und ein ehrlicher Mensch müßte auch ehrlich zugeben, daß er, trotz der so vielen mehr oder wenig schönen Witze über Zellwolle, gegenüber früher kaum eine Veränderung bemerkt hat, höchstens in der Verlängerung der Lebensdauer. Denn auch im Preis ist es gelungen, denjenigen von Wolle zu unterschreiten, nachdem zu Beginn der Produktion — das war am Anfang der Weltwirtschaftskrise — die Preise für Textilrohstoffe auf den Weltmärkten so rasch sanken, daß eine Angleichung der Preise der neuen deutschen Spinnfasern an diesen Preisstand unmöglich war. Das Hauptverwendungsgebiet für Zellwolle war infolgedessen für viele Jahre der hochwertige Damenkleiderstoff. Seit dem Jahre 1924 ist der Herstellungspreis um fast dreiviertel auf nur ein Viertel des ursprünglichen und damit auch unter den für Wolle gesunken. Wieviel Mühe, Arbeit, Fleiß, Kopfzerbrechen und Erfindungsgabe hat dazu gehört. Da hat schließlich auch die Herrenwelt die Verpflichtung, dem sets Neuem zugewandten Spürsinn der Frau, der sich wieder einmal im Gegensatz zur verstandesmäßigen Einstellung des Mannes als richtig erwiesen hat, zu folgen und die durch nichts gerechtfertigte konservative Haltung endgültig aufzugeben. Diese Haltung, die dem neuen Produkt bei seiner Einführung so überaus viele Schwierigkeiten bereitet hat. Darüber wird in einem Arbeitsbericht der I. G. Farben A. G. folgendermaßen kurz und sachlich berichtet, wobei jeder kleine Satz einen neuen, zähen, jahrlang währenden Kampf enthüllt.

„Mit der Erfindung der Vistra allein war es nun freilich bei weitem noch nicht getan. Sie durchzusetzen gegen eine Welt von Vorurteilen, gegen blinden Eigennutz jener, die sich dadurch bedroht fühlten, gegen das Bleigewicht anscheinend unwandelbarer Gewohnheiten, erforderte ein zähes Ringen und einen unerschütterlichen Glauben an die vollbrachte Leistung. In unermüdlicher Pionierarbeit zeigten die Fachleute der I. G. den Spinnern, wie man die Vistra auf den vorhandenen Maschinen verspinnen konnte; Webereifachleute schufen besonders für Vistra geeignete Webemuster, und die großen Färbereilaboratorien der I. G. brachten Färbevorschriften heraus."

Heute gibt es in Deutschland kein Gewebe aus Naturfasern, das nicht auch die Kunstfaser enthält. In wenigen Jahrzehnten oder auch nur Jahren wird uns das zur Selbstverständlichkeit geworden sein. Und wahrscheinlich werden wir gut dabei fahren, namentlich, da die Industrie noch immer weiter an der Vervollkommnung des künstlichen Produkts arbeitet. Schon jetzt aber beginnt die zunächst als Ersatz gedachte Faser ihr Eigenleben zu führen und sich Gebiete zu erobern, an die man am Beginn niemals auch nur gedacht hatte. Ich zitiere noch einmal die I. G.:

„Es gibt heute Feuerwehrschläuche aus Vistra mit Hanf, die gar noch schneller dichter werden als reine Hanfschläuche; andere Schläuche gibt es aus reiner Vistra, die nachträglich mit Buna, dem synthetischen Kautschuk der I. G., getränkt wurden und derart als hundertprozentiges deutsches Erzeugnis bezeichnet werden können. Ferner stellt man aus unseren I. G.-Zellwollen Schmierpolster für die Achsen der Eisenbahnen, für Treibriemen, Filterstoffe, Traggurte, Filze und noch soviel anderes her, daß seine Aufzählung den hier zur Verfügung stehenden Raum weit überschreiten würde."

3.

Der Zellstoff ist, das wird nach allem, was bisher gesagt worden ist, wohl niemand bestreiten, außerordentlich wandelbar. Und erst jetzt versuchen wir, alle gegebenen Möglichkeiten auszuschöpfen, wobei wir noch lange nicht ans Ende unserer Arbeit gelangt sind. Dabei sollen keineswegs frühere Verwendungsgebiete vergessen werden, die dem besonderen Verhalten der Zellulose angepaßt waren.

Filterpapier, wie es die Hausfrau zum Filtrieren des Kaffees braucht, besteht aus fast reiner Zellulose. Jeder Filtriervorgang beruht auf der Tatsache, daß die kreuz und quer übereinanderliegenden Fasern durch die dadurch gebildeten Poren Flüssigkeiten und gelöste Stoffe zwar durchlassen, feste Teilchen jedoch zurückhalten. Taucht man ein Stück Filtrierpapier kurze Zeit in starke Schwefelsäure, so fängt die Faser an zu quellen. Dadurch werden die Poren geschlossen. Es entsteht aus dem früheren schneeweißen Filtrierpapier das durchscheinende Pergamentpapier, welches tatsächlich in seinen physikalischen Eigenschaften starke Ähnlichkeit mit tierischen Häuten besitzt.

Physikalisch sehr interessant ist dabei das Verschwinden der ursprünglich weißen Papierfarbe. An und für sich ist dieser Vorgang recht häufig, wird aber meistens nur wenig beachtet. Oder ist schon

einmal darüber nachgedacht worden, warum das Eis der frischgegossenen Eisbahn klar und durchsichtig, nach längerer Benutzung jedoch weiß aussieht? Wie das im Schnee gefrorene Wasser auch. Oder warum das doch weiße Kochsalz eine farblose Lösung gibt?

Das liegt daran, daß Kochsalz gar nicht weiß ist. Ebensowenig wie Zellstoff. Die winterliche Eisbahn nimmt deshalb ein weißes Aussehen an, weil der Schlittschuh feine Späne abraspelt, die Luft in sich einschließen. Nun wird das darauffallende Licht nicht mehr in eine ganz bestimmte Richtung, die von dem auffallenden Strahl abhängig ist, spiegelnd zurückgeworfen, sondern nach den verschiedensten Richtungen zerstreut. Das bedeutet aber für unser Auge „weiß". Wer einmal auf einem See die eingefrorene Luftblase beobachtet hat, wird an dem größeren Beispiel diese Anschauung bestätigt finden. Aus dem gleichen Grunde sieht die Schneeflocke trotz des sie bildenden farblosen Wassers weiß aus. Und da durch das Lösen des Kochsalzes oder auch Zuckers die zwischen den kleinen Kristallen liegende Luft verschwindet, sieht die Lösung jetzt umgekehrt farblos aus. Wie auch Pergamentpapier, das sich von dem in den Poren befindlichen Gas durch das Quellen hat trennen müssen.

Es ist eigentümlich. Einmal will der Mensch mit aller Gewalt die Luft zwischen den Zellstoffteilchen verjagen, wie beim Pergamentpapier, das andere Mal gibt er sich die erdenkliche Mühe, der Kunstseide die Luft aufzuzwingen, damit daraus Zellwolle herzustellen ist. Wie wäre es denn nun, wenn man die Viskose nicht zu dünnen Fäden verarbeitete, sondern breite Bänder daraus herstellte? Dann müßte man doch eine Art Pergamentpapier erhalten?

Bekommt man auch. Und ein sehr schönes noch dazu. Nur nennen wir es jetzt Zellglas.

Welche Hausfrau kennt nicht jene hauchdünne und durchsichtige Haut, mit der sich so glänzend, nur durch Befeuchten, die im Sommer bereiteten Gelees, Fruchtsäfte und Marmeladen verschließen lassen? Und wer kennt nicht die appetitlichen glasklaren und doch so sehr widerstandsfähigen Beutel, in denen sich das Oberhemd ebenso gut aufbewahren läßt wie Süßigkeiten? Ganz erhebliche Devisenersparnis bringt aber die Verwendung als Wursthaut. Normalerweise mußte Deutschland aus dem Auslande eine große Anzahl Tierdärme zur Wurstbereitung beziehen, da die durch eigene Schlachtungen anfallenden Därme bei weitem nicht ausreichten. Für den Wurstesser war es vielleicht mitunter besser, die Herkunft aller dieser „Pellen" nicht allzu genau zu kennen, wenn auch die Industrie natürlich alles tat, um das Einfuhrprodukt zu

reinigen. Zweifellos ist die heutige Wurstbereitung hygienischer und sauberer; die Haut läßt sich allerdings nicht mehr mitessen. Da das Zellglas aber genau so porös ist wie eine Tierhaut, kann der Inhalt ebenso gut gekocht und geräuchert werden. Flaschenkapseln, Lichtpauspapiere, leinölsparende Klebemittel lassen sich, um nur weniges noch zu nennen, gleichermaßen aus demselben Stoff bereiten.

Zur Herstellung von Filmen wurde bis vor kurzem ausschließlich das uns schon bekannte sehr feuergefährliche Zelluloid verwandt. Diese nitrierte Zellulose kann darum so außerordentlich ungemütlich werden, weil sie einmal sehr leicht entzündlich — selbst ohne direkte Berührung mit der Flamme — ist, zum anderen aber auch beim Brennen hohe Temperaturen, die den Zerfall bis zur Explosion steigern können, und braune, für die Atmung sehr schädliche Gase entwickelt. Nicht umsonst sind die Feuervorschriften in den Lichtbildtheatern so sehr streng! Man hat natürlich immer wieder nach einem weniger gefährlichen Stoff gesucht, der die gleiche gute Fähigkeit besitzt, die lichtempfindliche Schicht in sich zu betten. Im Zelluloseazetat haben wir den gesuchten, so gut wie unbrennbaren, gefahrlosen Stoff gefunden. Da diese Bildstreifen mechanischen Beanspruchungen gegenüber viel widerstandsfähiger sind, wird auch bald das kleinste Dorfkino von der regenreichen Atmosphäre alter Bildstreifen frei sein. In Kürze wird es nur noch diese schwerentzündlichen Filme geben.

4.
Zwischenspiel.

Dem Menschen ist so leicht kein Ziel zu hoch. Die Erfolge, die er mit der Kunstfaser erzielt hat, sind gewiß groß; ihn reizte es aber, auch die tierische Faser nachzubilden.

Wir haben schon früher davon gehört, daß dieses Produkt chemisch zu einer ganz anderen Körperklasse zählt. Nämlich zu den Eiweißstoffen, die außer den Elementen des Zellstoffs auch noch gebundenen Stickstoff enthalten. Sind Zucker, Stärke und Zellulose schon reichlich komplizierte Stoffe, über deren inneren Aufbau das letzte Wort noch nicht gesprochen ist, so sind sie doch alle Waisenknaben gegenüber den Eiweißstoffen. Trotz der bahnbrechenden Arbeiten des Deutschen Emil Fischer, der zu Beginn des jetzigen Jahrhunderts in Berlin sich daran machte, die Konstitution dieser widerborstigen Gesellen zu erforschen, ist es zurzeit noch völlig unmöglich, etwa eine Formel für das Eiweißmolekül aufzustellen. Wohl hat Fischer die kleinen stickstoffhaltigen Bausteine, Aminosäuren genannt, erhalten und aufgezeigt, aus

denen das größere Molekül besteht. Ein Aufbau ist bisher jedoch nicht geglückt, da unsere Kenntnisse doch noch gar zu kümmerlich sind. Ein wildes Herumtappen mit der Hoffnung auf einen etwaigen Zufallstreffer aber versagt sich die heutige wissenschaftliche Chemie mit Recht.

Unter diesen Umständen schien es verwegen zu sein, ausgerechnet eine spinnfähige Eiweißfaser herstellen zu wollen. Dabei gab es, wenn wir nicht immer nur ausschließlich an das Hühnereiweiß denken wollen, eine ganze Menge schwer verwertbaren Eiweißes. Vor allem in den großen Mengen Magermilch, die beim Entrahmen übrig bleibt und die sich nicht alle zu Käse verarbeiten läßt. Aber auch im Fischeiweiß. Bereits in früheren Jahren hat man gelernt, das Milcheiweiß, wie schon gezeigt, mit Formaldehyd zu Galalith zu härten, das als Kunsthorn mannigfache Verwendung findet, heute aber durch schönere Kunstharzprodukte immer mehr zurückgedrängt wird. Immerhin bestehen noch manche „elfenbeinähnlichen" Perlen, Knöpfe, Anhänger, Zigarettenspitzen, Schirmkrücken aus Kasein (sprich: Käse). Vielleicht bliebe zu überlegen, ob Milcheiweiß, das immerhin ein hochwertiges Nahrungsmittel ist, sich überhaupt als Grundlage für einen groß aufgezogenen industriellen Betrieb eignet. Italien jedenfalls hat, von der Not der Sanktionen getrieben, in mühseliger fünfzehnjähriger Arbeit eine deutsche Erfindung zur Fabrikreife gebracht. Das Erzeugnis ist unter dem Namen Lanital (lana = Wolle italiana) bekannt geworden. Japan gewinnt aus dem Eiweiß der Sojabohne Textilfasern. Schließlich und endlich sind auch in unserem Vaterlande wieder die Versuche aufgenommen, die zur Grundlage außer dem Kasein das Eiweiß der Fische, von denen früher ein großer Teil unverwertet blieb, haben.

Hier stehen wir zunächst noch ganz am Anfang. Die ersten Erfolge sind jedoch so vielversprechend, daß sich für die Zukunft das Beste erwarten läßt. Einen Triumph der Technik würde es aber bedeuten, wenn die neueste Meldung sich bewahrheiten sollte, wonach sich aus den Fischerschen Abbauprodukten des Eiweißes, aus den Aminosäuren, spinnfähige Fasern gewinnen lassen. Dann müßte sich wieder einmal die Natur als geschlagen bekennen, denn Aminosäuren lassen sich, nachdem wir den Luftstickstoff zu binden gelernt haben, ohne tierische Beihilfe im reinen Fabrikprozeß darstellen.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß es noch auf einem ganz anderen Wege gelungen ist, eine spinnfähige Faser zu gewinnen. Nicht Holz oder relativ teure Eiweißstoffe, die beide — und das haben wir nur schon allzugut gespürt — in ihrem Vorkommen beschränkt

sind, bilden die Grundlage, sondern wieder einmal das uns nun schon wohlvertraute, nur Kohle und Kalk erfordernde Azetylen. In Gegenwart von Katalysatoren zwingt man dieses Mal den stark ungesättigten Kohlenwasserstoff, Chlorwasserstoff — wir kennen seine wässerige Lösung unter dem Namen Salzsäure — anzulagern. Das entstandene farblose Gas, das auf den Namen Vinylchlorid hört, polymerisiert sehr leicht. Das gebildete feste Produkt verwendet die I. G. dazu, um ihre P. C. Faser daraus herzustellen. Diese besitzt nun ganz neue Eigenschaften, wie wir sie auch unseren Naturfasern, jedoch vergeblich, wünschen möchten. Einmal ist sie völlig unbrennbar, zum anderen widersteht sie jedem Angriff von Säuren und Laugen, quillt nicht in Wasser und fault auch nicht. Wir dürfen wohl mit Recht noch vieles von dieser rein synthetischen Kunstfaser erwarten. Die Technik stellt aus der P. C. Faser, soweit bisher bekannt geworden, ideal zu nennende Filtertücher her.

5.

Kehren wir zur Zellulose zurück.

Viel früher als die Umwandlung zur Spinnfaser, die ja größtenteils nur eine physikalische Umformung bedeutet, hatte man das Verhalten des Zellstoffs gegenüber Chemikalien studiert. So wurde schon berichtet, daß die Salpetersäure gestattet, ihre NO_2-gruppen in das Molekül einzuführen. Chardonnet verstand dann, durch Entzug dieser gerade hineingebrachten Gruppen die erste Kunstseide daraus zu spinnen. Das war eigentlich ein sonderbarer und, wie es zunächst schien, zumindest abwegiger Gedanke. Von der Feuergefährlichkeit dieser nitrierten Zellulose war schon beim Kollodium und dem daraus zu gewinnenden Zelluloid die Rede. Christian Friedrich Schönbein behandelte als erster im Jahre 1845 Baumwolle mit starker Salpetersäure. Äußerlich sieht man der Faser keinerlei Veränderung an; doch kann sie nunmehr sehr plötzlich und heftig explodieren. Sie ist zu einem Sprengstoff, der Schießbaumwolle, geworden. Das Zellstoffmolekül rächt sich ganz empfindlich dafür, daß der Chemiker mit so groben Mitteln den Aufbau zu verändern strebt. Die Nitratgruppen der Salpetersäure hatten schon dem Schwarzpulver den nötigen Sauerstoff zum verbrennenden Zerfall geliefert. Hier, bei der Schießbaumwolle, finden sie ein noch weit besseres Betätigungsfeld, da sämtliche im Molekül gebundenen Atome bis auf den letzten Rest brennbar sind. Im Gegensatz zum Schwarzpulver, dessen Rauch aus nicht verbrannten Teilchen besteht. Da die Wirkung eines Sprengstoffes einmal von der Größe des beim Explosionsvorgang entstehenden Gasvolumens, zum zweiten von der auftretenden Temperatur, die ja eine weitere

Volumenausdehnung bedingt, und zum dritten von der Schnelligkeit des Zerfalls abhängt, kann man sich vorstellen, daß die Schießbaumwolle, die das Schwarzpulver nach allen Richtungen hin schlägt, zu Umwälzungen, vor allen Dingen in der Waffentechnik, führen mußte. Heute wird das Schwarzpulver nur noch zu einigen Spezialzwecken benutzt, etwa als Füllung für Zündschnüre oder dort, wo es mehr auf einen länger dauernden schiebenden Druck, wie er etwa zu Eissprengungen nötig ist, ankommt. Man muß sich nämlich vor der Meinung hüten, als wenn der sich am heftigsten und schnellsten zersetzende Stoff auch die beste Sprengwirkung ausübte. Eine mit Dynamit vorgenommene Eissprengung, um bei diesem Beispiel zu bleiben, würde nutzlos sein, da das Eis wegen seiner Trägheit dem plötzlichen Druck gar nicht zu folgen vermag. Auch im Geschützrohr würde etwa Nitroglyzerin nur Unheil anrichten, da es das Rohr einfach sprengen würde, ohne daß das Geschoß die Geschwindigkeit aufnehmen könnte. Hier ist der Druck vielmehr so einzurichten, daß er bis zu dem Augenblick reicht, wo die Patrone oder das Geschoß am Ende des Rohres angelangt ist. Um das zu erreichen, „körnt" man das Pulver. Ein fein zermahlenes Pulver nämlich bietet mit seiner großen Oberfläche dem Verbrennungssauerstoff die beste Angriffsfläche. Preßt man hingegen das Ganze in größere Stücke, körnt man es, so geht die Verbrennung langsamer vor sich, und die Explosionsgeschwindigkeit wird damit verringert.

Von einem Sprengstoff verlangt man ferner, daß er unter gewöhnlichen Bedingungen nicht so sehr empfindlich ist und auch wohl mal einen kleinen Puff vertragen kann. Erst durch einen heftigen Schlag, den Funken einer Zündkapsel oder einer elektrischen Batterie soll die Detonation erfolgen. Mit neuen Sprengstoffen müssen auch immer wieder neue Erfahrungen gesammelt werden. Leider kostet das meistens eine ganze Reihe von Opfern. Eines ist aber für alle derartigen leicht zersetzlichen Stoffe als unbedingt nötig erkannt: Sie müssen frei von jeglicher verunreinigenden Substanz sein, da sonst die zuerst langsam beginnende Selbstzersetzung katastrophale Folgen annimmt. So war es bei der Schießbaumwolle zunächst außerordentlich schwierig, die letzten, überflüssigen Moleküle der einwirkenden Salpetersäure zu beseitigen. Heute gelingt das, und damit gewinnt man eine verhältnismäßig ungefährliche Masse, die gemahlen und dann durch hohen Druck zusammengepreßt wird, um als Füllung von Granaten, Minen und Torpedos erst zu explodieren, wenn es wirklich gewünscht wird. Das heißt: Von der *ab*gebenden Seite!

Für manche Zwecke ist die Schießbaumwolle aber noch viel zu brisant. Man hat jedoch gelernt, sie in geeigneten Lösungsmitteln quellen zu lassen, so daß eine gallertartige Masse daraus wird. Die Gallerte kann man zu Platten auswalzen und dann in beliebig große Stücke zerschneiden. Damit war das erste rauchlose Geschoßtreibmittel gefunden worden. Die Überlegenheit gegenüber dem früheren Schwarzpulver kommt am besten dadurch zum Ausdruck, daß die Anfangsgeschwindigkeit des modernen Gewehrgeschosses über doppelt so groß ist wie bei den Handfeuerwaffen, mit denen der Krieg 1870/71 gewonnen wurde.

Es stünde für Deutschland schlimm, wenn es zur Darstellung des rauchschwachen Pulvers immer noch das Ausgangsmaterial Schönbeins, nämlich Baumwolle, nötig hätte. Diese wurde in den ersten Zeiten vornehmlich aus dem Grunde benutzt, weil sie die reinste Zellulose darstellte. Heute nehmen wir den Zellstoff aus unseren eigenen Wäldern. Und sind somit besser daran als gegnerische Nationen, die sich diesen Rohstoff erst aus nordischen Ländern beschaffen müssen. Allzustarke Abhängigkeit in lebenswichtigen Fragen ist aber niemals, vor allen Dingen in Kriegszeiten nicht, gut.

6.

Abgesang und Mahnung

Untersucht man begangene Fehler, so läßt sich meistens feststellen, daß ihre Ursachen in der Unkenntnis zu finden sind. Wir haben allmählich im Zeitraum langer Jahre so ziemlich alle begriffen, daß Steinkohlen nicht direkt verfeuert werden dürfen, wenn man sich nicht an wichtigem Nationalgut versündigen will. Es wird noch viel Mühe und Aufklärung nötig sein, um auch das Holz in seine Rechte einzusetzen. Wir können es uns einfach nicht mehr erlauben, diesen wichtigen Rohstoff lediglich als Heizmaterial zu benutzen. Ein oberflächlicher Beobachter könnte allerdings meinen, daß die großen Waldungen Deutschlands, welche rund 30 % seines Bodens bedecken und nicht weniger als 12 % seines Nationalvermögens ausmachen, unerschöpflich seien. Dem ist aber leider nicht so. Immerhin muß die Kiefer, ehe sie verwertbar ist, mindestens 30, die Buche gar 40 Jahre alt sein. Wenn man keinen Raubbau treiben — andere Länder sind dafür mahnende und abschreckende Beispiele —, wenn man also unseren Nachkommen dieses kostbare Gut zum weiteren Nutzen hinterlassen will, darf bei gleichzeitigem Aufforsten allerhöchstens 2 bis 3 % des Bestandes jährlich geschlagen werden. Mit diesem Betrag lassen sich aber die Aufgaben der Bauwirtschaft und Industrie aus eigenem nur lösen, wenn auch das

früher wertloseste Abfallholz nicht mehr verbrannt, sondern Veredlungszwecken zugeführt wird. Heute verwendet die Industrie sogar schon die Zellulose des Strohs und des Kartoffelkrautes. Unsere Lage wird dabei durch nichts besser beleuchtet als durch die Tatsache, daß trotz des eigenen Reichtums im Jahre 1935 noch für 250 Millionen Mark Holz eingeführt werden mußte.

Vielfach heißt es dabei ja auch nur von einer alten Gewohnheit, die nicht einmal so sehr nützlich war, Abschied zu nehmen. Holz wurde in waldreichen Gegenden verfeuert, weil man kaum sonstige Verwendung dafür hatte und es somit ein billiges Heizmaterial war. Und doch wieder nicht billig! Denn wenn man den Preis nach dem Heizwert berechnen wollte, würde sich herausstellen, daß die vom Holz gelieferten Wärmemengen dem Verbraucher sehr teuer zu stehen kommen. Umgekehrt würde das besagen, daß die von nur geringen Mengen Koks erzeugte Temperatur des winterlichen Zimmers eine gewaltige Holzmenge erfordern würde, die weiß Gott besseren und wertvolleren Zwecken zugeführt werden könnte. Daß der deutsche Wald zur seelischen Stärkung und Gesundung beiträgt, ist schon lange erkannt; möge nun auch das Verständnis dafür, daß die gleichen Wälder kein Brennmaterial, sondern wichtigen Rohstoff für deutsche Veredlungsindustrien darstellen, in jedem Deutschen lebendig werden und bleiben!

6. Teil.

Leben wir tatsächlich noch im Eisenzeitalter?

1.

Jeder Mensch und jedes Zeitalter ist geneigt, just in sich den Höhe- und Endpunkt einer langen Entwicklung zu sehen. Wenn wir auch jetzt wieder etwas bescheidener geworden sind und dem Entwicklungsgedanken nicht mehr so recht trauen, nicht mehr, wie das früher wohl geschehen konnte, mitleidig auf ergangene „primitivere" Zeiten zurücksehen und jeden zivilisatorischen Gewinn als geeignetes Mittel zur Höherentwicklung der Menschheit ansprechen, so liegt die Gefahr zur Überheblichkeit doch noch immer recht nahe, zumal, wenn man die gewaltigen Fortschritte der chemischen Technik miterlebt. Möge mein Buch nicht zur Stärkung dieser menschlichen Schwäche beigetragen haben!

Es wird niemals zu erkunden sein, welchem Menschen oder auch nur welchem Volke es als erstem gelang, metallisches Eisen für den Gebrauch zu gewinnen. Viel näher lag es zunächst ja auch, dasjenige Material, das die Natur zur direkten Verwendung darbot,

für die täglich genutzten Waffen und Geräte zu verarbeiten. Die ersten aus Stein gehauenen und bearbeiteten Gerätschaften verschafften dem Menschengeschlecht die endgültige Überlegenheit über die ihn umgebende Tierwelt. Zehntausende von Jahren dienten der Vervollkommnung dieser einfachen Hilfsmittel, bis, vielleicht zufällig, der Mensch die Verwendungsmöglichkeit elementar vorkommender Metalle entdeckte. Silber und vor allen Dingen Gold waren zu weich, um zu Waffen, die im Lebenskampf durchaus im Vordergrunde des Interesses standen, verarbeitet zu werden. Ihr großer Seltenheitswert und ihre Beständigkeit waren aber vorzüglich dazu geeignet, das Schmuckbedürfnis zu befriedigen. Auch Kupfer kommt zuweilen „gediegen", d. h. als Element, vor. Mag sein, daß die Hitze des Lagerfeuers an zufällig darunter liegenden Kupfererzen zeigte, daß sie schmelzbar und in größeren Stücken wohl verwendbar seien. Ein ausgedehnteres Anwendungsgebiet eroberte sich dieser Werkstoff aber erst, als man es verstand, ihn mit Zinn zu legieren. Wenn wir rund rechnen, können wir annehmen, daß vor etwa viertausend Jahren der Mensch zum ersten Male die Bronze verwendet hat. Sie ist ein Gemenge von Kupfer mit Zinn in wechselnder Zusammensetzung. Derartige Gemische nennt man nun eben Legierungen. Eine zweite, vielleicht ebenso berühmte, ist unser Messing, das aus Kupfer und *Zink* gemischt ist. Metallgemenge haben gegenüber den sie bildenden Elementen stark abweichende physikalische Eigenschaften. Bronze z. B. ist viel härter als Kupfer oder Zinn, und der Schmelzpunkt liegt weit unter dem des Kupfers, was für die Bearbeitung nur zu begrüßen ist. Dadurch, daß man das prozentuale Mischungsverhältnis weitgehend ändern kann, lassen sich dunkelfarbige bis silberne, sehr harte und weichere Bronzen darstellen, die selbst heute noch vielfach Verwendung finden. Die harte Geschützbronze, die allerdings außerdem Phosphor enthält, ist ein weltbekanntes Beispiel dafür.

Auf den ersten Blick kann man mitunter nicht feststellen, ob man eine Legierung vor sich hat, so weit hat sich das Aussehen und auch das andere physikalische Verhalten gegenüber den sie bildenden Komponenten verändert. Und doch haben sie im Grunde, nämlich chemisch, ihre alten Eigenschaften behalten. Zink löst sich sehr gut in Salzsäure. Auch das Zink des Messings tut das. Man kann somit leicht wieder das Kupfer, das nicht die gleiche Löslichkeit aufweist, daraus zurückgewinnen. Kupfer läuft leicht an. Wir werden deshalb nicht erstaunt sein, daß auch Bronze und Messing diese Eigenschaft aufweisen, was jede Hausfrau wohl aus eigener Erfahrung bestätigen wird. Man sollte eigentlich froh sein, daß

man jetzt dafür so schöne Austauschstoffe — über die noch zu sprechen sein wird — besitzt, die viele Mühe und Arbeit ersparen und auch hübsch sind. Ich jedenfalls habe mich über meine immer wieder schwarz anlaufenden Wasserhähne aus Messing im chemischen Untersuchungsraum so sehr geärgert, daß ich sie ein für alle Male habe schwarz überlackieren lassen.

Messing wird wegen des darin enthaltenen für andere Zwecke besser zu verwendenden Kupfers im Gebrauch immer mehr zurückgedrängt. Mit der Bronze ist das, auch ohne Anordnung oder Aufklärung, schon ganz von selber geschehen, da sich inzwischen geeignetere Werkstoffe gefunden haben. In der Menschheitsgeschichte ist sie aber nicht fortzudenken, bot sie doch die erste Möglichkeit, Waffen aus Metall herzustellen, die den alten aus Stein weit überlegen waren. Sie waren kostbarstes Gut. Aus dem gleichen Material wurde auch der Schmuck bereitet. Selbst als man in späteren Zeiten die Erze in größerer Menge zu verarbeiten verstand, kostete doch noch die Rüstung des Ritters ein Vermögen.

Zu dieser Zeit erwuchs der Bronze aber schon ein mächtiger Widersacher, der sie bald vollends aus dem Sattel heben sollte: das Eisen. Auch hier ist wohl anzunehmen, daß ein über besonders geeigneten Erzen entfachtes starkes Holzkohlenfeuer das Metall freimachte. Das Eisen selbst, als Element, findet sich nämlich nur äußerst selten an der Erdoberfläche; Eisenerze dagegen, das sind die Verbindungen des Eisens mit allen möglichen anderen, nichtmetallischen Grundstoffen, sind reichlich vertreten. Von allen Schwermetallen ist das Eisen sogar — natürlich immer nur in Verbindungen — prozentual am meisten am Aufbau unserer Erdkruste beteiligt und bietet sich so also eigentlich zwangsläufig als Gebrauchsmetall an. Wenn man trotzdem zuerst zu Kupfer und Bronze gegriffen hat, so aus dem Grunde, weil die Elemente viel leichter zu gewinnen waren, während das Eisen seiner Befreiung aus dem Atomverband erheblichen Widerstand entgegensetzt, der nur mit starken Mitteln zu brechen ist. Der Weg dazu ist von allem Anfang an derselbe geblieben, mag sich ein modernes Hochofenwerk auch noch so sehr von den allerersten Handbetriebsmethoden unterscheiden. Immer muß das Eisen in Form seines Oxyds vorliegen, wenn man es verhütten will. Die Natur ist nun allerdings selten so freundlich, uns das Erz gleich in dieser Form zu liefern. Dann muß es erst in vorbereitenden Verfahren in die Sauerstoffverbindung übergeführt werden, ehe man es von seinen Gefährten trennen kann.

Eisen hält den Sauerstoff sehr fest im Molekül an sich gekettet.

Wir wissen ja auch, daß es sich liebend gerne mit diesem Element verbindet; jeder rostende Gegenstand ist Beweismittel dafür. Erhitztes Eisen tut das sogar schnell und unter lebhafter Flammenerscheinung, wie das bei der Arbeit mit dem Schneidebrenner zu beobachten ist, bei dessen Wirken ein lebhafter Funkenregen entsteht. Eisen ist brennbar! Die Feuerwerkerei erzielt damit ihre schönsten Effekte.

Will man dem Eisen den Sauerstoff wieder entziehen, was nicht so ganz einfach ist, so muß man ein Mittel hinzufügen, das ihm bei geeigneten Bedingungen dieses Element entreißt, denn gutwillig trennt das Metall sich nicht von seinem Begleiter. Es hat, wie der Chemiker sich ausdrückt, eine starke chemische Verwandtschaft (Affinität) zu ihm. Das einzige Mittel, die Bindung zu lösen und damit das Eisen freizumachen ist, dem Oxyd unter geeigneten Bedingungen einen Stoff zuzuführen, mit dem sich der Sauerstoff *noch* lieber verbindet als mit dem Schwermetall.

Es gibt eine ganze Reihe von derartigen Verbindungen und Elementen, denen der wankelmütige Sauerstoff nicht zu widerstehen vermag, deren Lockungen er nur gar zu gerne folgt. Für die Technik kommt natürlich nur ein Mittel in Betracht, das bequem in der Handhabung und vor allen Dingen billig ist. Als solches verwendet sie das uns schon bekannte, aus Kohlenstoff gewonnene Kohlenmonoxyd, CO.

Wer hätte nicht schon davon gehört, daß Kohle und Eisen die beiden Grundlagen unserer jetzigen Zivilisation sind? Ihre ausschlaggebende Rolle verdanken sie vornehmlich ihrem Zusammenwirken bei der Eisenverhüttung.

Bei Kohle darf man jedoch wiederum nicht an Steinkohle denken, sondern an das Element Kohlenstoff, das die moderne Industrie allerdings aus der Kohle gewinnt. In früheren Zeiten kannte man die Großgewinnung des Kohlenstoffs in Form von Koks freilich noch nicht. Damals war die einzige Gewinnungsquelle dieses Elementes das Holz, aus dem man die Holzkohle gewann. In mühseliger Kleinarbeit wurde im entfachten Holzkohlefeuer, dem bald ein kleiner Blasebalg stärkere Kraft verlieh, auf gemauertem Herd unter stetem Umrühren das Eisen gewonnen. Das ergab nur kleine Stücke, die jedoch wegen der sehr sorgfältigen Durcharbeitung ganz hervorragendes Material zur Weiterverarbeitung lieferten. Die dabei zu beobachtenden und zu überwindenden Schwierigkeiten waren aber so groß, daß nur ganz wenige geschickte Meister imstande waren, verwendbaren Stahl zu erzeugen. Eifersüchtig wurde natürlich das Geheimnis gehütet. Gut gearbeitete Waffen aus Stahl

waren ebenso wertvoll wie Gold, und selbst heute sprechen wir nicht nur vom sagenhaften Siegfriedschwert, sondern zeigen auch Namen wie Damaskus und Toledo die Orte an, an denen früher die begehrtesten Degen und Dolche geschmiedet wurden.

Wenn es somit auch gelang, hervorragend geeigneten Stahl zu erzeugen, so war bei dieser Gewinnungsart keinenfalls zu erwarten, daß Eisen einmal zum Gebrauchsmetall werden würde. Dazu war nötig, daß weit größere Erzmengen verarbeitet wurden. Schon in altgermanischen Zeiten konnte man in kleinen, eigens für die Eisengewinnung errichteten mit Holzkohle befeuerten Öfen das kostbare Metall gewinnen. Erst in moderner Zeit, im Anfang des vorigen Jahrhunderts, als man es verstand, die weiche Steinkohle in harten Koks zu verwandeln, wuchsen sich jedoch die Gewinnungsapparate zu jenen 20—30 Meter hohen Riesen aus, jenen Hochöfen, die heute in ununterbrochener Arbeit die riesigen Mengen Roheisen erzeugen, ohne die moderne Kulturvölker einfach nicht mehr leben können. Ein einziger dieser Öfen liefert täglich rund 1000 Tonnen Eisen; 1937 erzeugte allein Deutschland in seinen etwa 150 Hochöfen 16 Millionen Tonnen Roheisen im Werte von etwa einer Milliarde Mark und heute sind diese Zahlen schon wieder weit überholt.

Der Kampf zwischen Eisen und Kohlenstoff um den Besitz des begehrten Sauerstoffs spielt sich in unseren Tagen also in den Riesenöfen ab, die das Gesicht der Industriegebiete bilden. In seinem unteren Teile wird durch einen kräftigen Luftstrom, der, um eine Temperaturminderung zu vermeiden, vorgewärmt wird, ein mächtiges Feuer aus brennendem Koks entfacht. Unter diesen für den Kohlenstoff günstigen Bedingungen verbrennt er bis zu seinem Endprodukt, dem Kohlendioxyd. Temperaturen, die nahezu bei 2000 Grad liegen, sind die Folge davon. Der sich über dem „Herd" erhebende Schacht des Ofens wird von oben, durch die „Gicht", abwechselnd mit einer Schicht Erz und mit einer von Koks „beschickt". Die besondere Konstruktion sorgt dafür, daß sie sich kurz über dem Herd, in der „Rast", staut. Schon aus der Art der Beschickung wird deutlich, daß nicht der Kohlenstoff des Kokses *direkt* dem Eisenoxyd den Sauerstoff entziehen kann, da beide Teile fest sind und nur an wenigen Stellen miteinander in Berührung kommen. Von unten streicht der Beschickung aber nun heißes Kohlendioxyd entgegen, das jedoch auf seinem Wege nach oben auf höherliegenden heißen Koks trifft. Auch dieser Kohlenstoff möchte sich natürlich liebend gerne, wenn er könnte, mit Sauerstoff zu CO_2 verbinden. Und so entreißt er, da freier Sauerstoff nicht zur Verfügung steht, dem gesättigten Verbrennungs-

produkt wenigstens *ein* Atom des bei dieser Temperatur begehrten Elementes. Er verbrennt zu CO. Gleichzeitig heißt das aber, daß auch aus dem den Sauerstoff abgebenden Molekül Kohlendioxyd ein weiteres Molekül Kohlenmonoxyd geworden ist. Zählen wir zusammen, so finden wir, daß aus einem Molekül CO_2 plus einem Atom Kohlenstoff am Ende zwei Moleküle des stark ungesättigten Kohlenmonoxyds geworden sind. Im gefürchteten (?) Formelbild des Chemikers sieht das einfach so aus: $CO_2 + C = 2CO$. Die kleine chemische Gleichung sagt mit ihren wenigen Buchstaben mehr, als viele Worte es vermögen.

Kohlenmonoxyd ist ein unzufriedener Gast, der sich mit aller Kraft noch ein weiteres Atom Sauerstoff einverleiben möchte. Wir haben schon früher Beispiele seiner Skrupellosigkeit kennengelernt. Vom ursprünglichen, aus dem Herd aufsteigenden Kohlendioxyd ist nichts mehr zu erben, da es ja selbst zu CO geworden ist. Auf dem Weg in die Höhe trifft es aber nunmehr auf die aus Eisenoxyd bestehende Erzschicht. Das ist ein gefundenes Fressen für die jetzt verbunden kämpfenden, ungesättigten, lieblosen Kohlenmonoxydmoleküle. Zwar würde das Eisenoxyd gerne selber den Sauerstoff behalten, aber bei Temperaturen zwischen 900 und 400 Grad erweist sich das Kohlenmonoxyd als eindeutig überlegener Gegner. Es „reduziert" (führt zurück) das Eisenoxyd unter Wegnahme des Sauerstoffs zu Eisen, wobei es selbst natürlich in Kohlendioxyd übergeht. Nach Durchstreifen der Erzschicht trifft CO_2 wiederum auf heißen Koks. Das Spiel zwischen CO_2 und Kohlenstoff beginnt von vorne. Das dabei erneut gebildete CO reduziert das darüberliegende Eisenerz, und so könnte es von Schicht zu Schicht weitergehen, wenn nicht die absinkende Temperatur Halt geböte. Die oben aus dem Ofen entweichenden Gase enthalten neben dem heißen Luftstickstoff und Kohlendioxyd noch viel Kohlenmonoxyd. Früher ließ man die Gase einfach abbrennen, was zwar in der Nacht sehr hübsch aussah, aber wirtschaftlich nicht zu verantworten war. Heute fängt man die Abgase auf. Die physikalisch mitgeführte Wärme, die den Gasen noch immer die Temperatur von 200° erteilt, wird vornehmlich zum Vorwärmen der Gebläseluft, die dem Hochofen von unten zugeführt wird, benutzt. Das erreicht man dadurch, daß man die Gase durch gemauerte Kammern streichen läßt, deren Steine die Wärme aufnehmen und an die später hindurchgeleitete Luft dann wieder abgeben. Die Hauptmenge der *chemischen* Energie jedoch, die in dem aus dem Hochofen entwichenen Kohlenmonoxyd steckt — etwa 1/3 des Gasgemisches besteht aus ihm —, wird zum Antreiben von Maschinen

benutzt. Es wird dabei so viel Energie erzeugt, daß schon wenige in Betrieb gesetzte Hochöfen genügen, um einen ganzen Gau mit Elektrizität zu versorgen. Dieser „Nebenverdienst" verbilligt natürlich das Hauptprodukt, das Eisen, was dem Verbraucher nur recht sein kann.

Das im Hochofen freigemachte Eisen sinnt im übrigen auf Rache. Es hat sich, da sein Schmelzpunkt weit höher als die Temperaturen der Reduktionszone liegt, als feste schwammige Masse abgeschieden. Durch das dauernde Fortbrennen der unter ihm liegenden Schichten sinkt es immer tiefer, wird immer heißer und — löst dabei von dem ihn umgebenden Kohlenstoff in sich auf. Es legiert sich mit ihm.

Einen Nachteil hat die Legierung mit Kohlenstoff für das Eisen jedoch auch. Wir hörten bereits davon, daß der Schmelzpunkt der Beteiligten sich in Legierungen erniedrigt. Das gilt auch in diesem Falle. Während reines Eisen erst bei rund 1500° schmilzt, wird das Eisen-Kohlenstoff-Gemenge schon bei den in der Rast herrschenden Temperaturen von 1200° flüssig und könnte jetzt gemächlich nach unten tropfen, wenn — ja, wenn es dabei nicht die gefährliche Verbrennungszone des Herdes durchfallen müßte, in die bei den hohen Temperaturen noch gewaltsam Luft geblasen wird. Das gibt für das Eisen die beste Gelegenheit, sich an dieser Stelle wieder mit dem reichlich zur Verfügung stehenden Sauerstoff zu vereinigen. Dazu hat der Mensch aber natürlich nicht den Hochofen konstruiert, damit das oben hineingeworfene Eisenoxyd unten wieder als Eisenoxyd entnommen werden kann, nachdem es inzwischen einmal metallisches Eisen gewesen ist! Hier erweist nun aber der vom Eisen gelöste Kohlenstoff seine große Nützlichkeit. *Er* vermag dem heißen Luftsauerstoff noch weniger zu widerstehen als das Metall. Und so wird er in dieser gefährlichen Zone verbrannt, während das Eisen sie ungefährdet durchfällt und sich unten in flüssigem Zustande ansammelt.

Die in der Natur gewonnenen Erze sind natürlich nur selten rein. Sie „wachsen", wie der Bergmann sich poetisch ausdrückt, auf Gestein, das man als Gangart bezeichnet. Diese muß entfernt werden, wenn man das Metall gewinnen will. Man erreicht das im Hochofen durch geeignete „Zuschläge", die mit der Gangart eine glasartige Substanz bilden, welche aus leicht schmelzenden Kieselsäureverbindungen besteht. Es ist die Hochofenschlacke, die, weil sie viel leichter als Eisen ist, sich über ihm im unteren Teil des Hochofens ansammelt und so das gewonnene Metall auch von oben her vor der oxydierenden Wirkung der Gebläseluft schützt.

Im oberen Teil des Herdes fließt die Schlacke dauernd rotglühend-flüssig ab. Gelangt das Eisen an die gleiche Öffnung, so macht sich das durch Versprühen kleiner Teilchen bemerkbar. Das Metall wird dann unten durch eine zweite Öffnung, die normalerweise durch einen Tonpfropfen verschlossen ist, „abgestochen".

Gewöhnlich macht man sich nur einen schwachen Begriff davon, welche Schlackenmengen anfallen. An Gewicht erhält man fast ebensoviel Schlacke wie Roheisen! Da aber Eisen etwa 2½ mal so schwer ist wie das Nebenprodukt, nimmt dieses den 2½fachen Raum des gewonnenen Metalls ein! Man hat bisher nur einen recht geringen Teil von ihr als Baumaterial verwerten können; sie ist somit ein lästiges Nebenprodukt, das, in mächtigen Bergen neben den Hochofenwerken gelagert, große Flächen nutzbaren Bodens bedeckt. Wer den Werken eine nützliche Verwendung dieses Abfallproduktes aufzeigen könnte, brauchte sich über die Gestaltung seines weiteren Lebens keine Sorge zu machen. Jedenfalls soweit es den bei den meisten Menschen üblichen Geldmangel betrifft.

Und nun muß ich dem geneigten Leser, soweit er mir bisher gefolgt ist, eine kleine Beichte ablegen. Wenn ich früher gesagt habe, daß im Hochofen Eisen gewonnen wird, so stimmt das ganz und gar nicht. Vorsichtigerweise ist dieses Produkt auch lieber *Roh*eisen genannt worden. Reines Eisen haben sicher nur wenige Fachleute gesehen. Es ist im täglichen Leben nicht zu verwenden und somit für den gewöhnlichen Sterblichen kaum von Interesse. Der Hochofen liefert aber nun ein geradezu wildes Gemisch, bei dem Eisen zwar den Hauptbestandteil ausmacht, daneben aber vornehmlich noch Kohlenstoff, vielfach auch noch Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel enthalten ist. Dieses Roheisen ist spröde, besitzt nur geringe Biegsam- und Dehnbarkeit und läßt sich weder schmieden noch schweißen. Dafür ist es aber verhältnismäßig leicht zu schmelzen. Einen geringen Teil kann man infolgedessen als Gußeisen verwerten. Jeder von uns weiß, wie empfindlich gegen Stoß und Fall die daraus gefertigten Gegenstände sind. *So* ist jedenfalls das mühselig gewonnene Metall für die hohen Beanspruchungen der Technik nicht zu verwenden. Dazu muß es erst veredelt, d. h. von der Hauptmasse seiner Beimengungen befreit werden.

Das tat man im früheren Handbetrieb nach alten Erfahrungen auch. Dort wurde das im Holzkohlefeuer gewonnene Element in der Hitze immer wieder und wieder an der Luft durchgearbeitet und durchgeknetet. Dabei verband sich die Hauptmenge des legierten Kohlenstoffs mit dem Luftsauerstoff zu den hinreichend bekannten gasförmigen Verbrennungsprodukten! Der Geschicklich-

keit des Bearbeitenden blieb es überlassen, den richtigen Zeitpunkt für die günstigste Weiterverarbeitung zu erfassen. Denn um alles in der Welt durfte der Kohlenstoff nicht *vollständig* aus dem Eisen verbrennen; dann gab es *wieder* nur ein unbrauchbares Produkt. Jedenfalls keines, aus dem sich der begehrte Stahl oder auch nur Schmiedeeisen gewinnen ließ. Um diese Stoffe zu erhalten, muß nämlich noch 0,5—1,7 % Kohlenstoff darin bleiben. Dann läßt sich das Eisen schmieden, weil es jetzt nämlich, anders als das Gußeisen, das vom festen Zustand sofort in den flüssigen übergeht, beim Erhitzen weich wird. Seine überragende Stellung in der Technik verdankt das Schmiedeeisen aber dem merkwürdigen Verhalten, daß es, von Rotglut schnell abgekühlt — „abgeschreckt" sagt der Techniker dazu —, hart und spröde wird, jedoch beim „Anlassen", das ist langsames nachträgliches Erwärmen, zwar sehr hart bleibt, aber dazu biegsam und elastisch wird. Wir haben damit Stahl erhalten. Sieben Achtel der gesamten Roheisengewinnung dient heute der Stahlerzeugung.

2.

Will man Stahl gewinnen, so muß der Kohlenstoffgehalt des Eisens unter 1,7 % gebracht werden. Das vermochte man schon sehr früh mittels Durcharbeiten des gewonnenen Metalls an der Luft zu erreichen, ohne daß man sich mit der chemischen Ursache für diese Eigenschaftsänderung befaßte. Für den steigenden Bedarf an Stahl lieferte dieses Verfahren natürlich völlig unzureichende Mengen. Selbst das Puddelverfahren (vom engl. to puddle, umrühren), das am Ende des achtzehnten Jahrhunderts auf großen Herden das halbflüssige Eisen mittels darüberschlagender Flammengase, die noch überschüssigen Sauerstoff enthalten, durch fortgesetztes Umrühren mit langen eisernen Haken mühselig entkohlte, konnte hier keine genügende Abhilfe schaffen, wenn es auch heute noch dazu benutzt wird, um besonders hochwertigen Stahl zu erzeugen.

Erst 1856, also vor gut 80 Jahren, gelang es, Eisen in hinreichender Menge herzustellen, um alle Bedürfnisse zu befriedigen. Erst von da an wurde Eisen wirklich der vielverwendete Werkstoff, als welchen wir ihn heute kennen. Damals war England durchaus führend in der chemischen Industrie, und so wird es nicht wundernehmen, daß es ein Engländer war, der den Beginn einer neuen Epoche in der Stahlerzeugung einleitete. Im Jahre 1856 schlug der Londoner Bronzefabrikant Henry Bessemer vor, den entkohlenden Luftstrom nicht mehr *über* das Eisen zu leiten, was wegen der geringen Berührungsfläche nur wenig Ertrag liefern konnte, sondern

durch das flüssige Metall zu pressen. Der Vorschlag führte zu durchschlagendem Erfolg. Während die Herstellung von 3 Tonnen Stahl im Puddelofen 24 Stunden dauerte, erreichte Bessemer das gleiche Resultat schon in 20 Minuten. Heute läßt sich in derselben Zeit sogar 30—40 t Eisen, in 24 Stunden also zwischen 2000 und 3000 t, das ist fast das 1000fache des Puddelofens, verarbeiten.

Es war natürlich nicht ganz einfach, Bessemers Gedanken in die Tat umzusetzen. Aber auch heute noch arbeitet man in der gleichen Weise wie zu Anfang. In einem riesigen, feuerfest ausgekleideten, kippbaren, birnenförmigen Behälter, der Bessemerbirne, die durch die noch flüssig hineingebrachten 15—25 Tonnen Eisen kaum zu einem Viertel gefüllt ist, wird von unten mit 1½—2½ Atmosphären Druck Luft geblasen. Zunächst beginnt die Oxydation der beigemengten Elemente Silizium und Mangan, die beide dabei eine so hohe Verbrennungstemperatur erzeugen, daß das Eisen flüssig bleibt, obwohl sein Schmelzpunkt durch die Fortnahme der Beimengungen steigt. 10—20 Minuten später ist auch die Verbrennung des Kohlenstoffs beendet. Will man Stahl von einem bestimmten Kohlenstoffgehalt erzeugen, so kann man den Vorgang schon vorher abbrechen. Den richtigen Zeitpunkt zu erkennen, erfordert natürlich große Erfahrung. Das gleiche Resultat erzielt man auch, wenn man dem völlig entkohlten Eisen eine bestimmte Menge Roheisen wieder zusetzt. In beiden Fällen wird der noch rotglühende Stahl in Blöcken von 2—3 Tonnen Gewicht dem Walzwerk zugeführt, wo er in seiner eigenen Hitze ausgewalzt und zu Fertigfabrikaten verarbeitet wird.

Schon diese kurze Skizzierung des Verfahrens zeigt, daß die Eisenindustrie durch die Möglichkeit, jetzt schnell große Mengen Stahl zu erzeugen, einen riesigen Aufschwung nehmen konnte. Das trat auch ein. Und England vor allem war der Nutznießer.

Aber schon damals zeigte sich, daß nicht alle Eisenerze gleich gut nach dem neuen Verfahren zu verarbeiten waren. Während die englischen Eisenwerke, die das Erz der Ostküste benutzten, mit den Erfolgen höchlichst zufrieden waren, nannten die Erzeuger an der Westküste den guten Bessemer ganz einfach und schlicht einen Schwindler. Denn dort erhielt man nach der gleichen Methode ein Produkt, das schon in der Kälte brüchig war. Des Erfinders eigene, langwierige Untersuchungen zeigten, daß verunreinigender Phosphor die Ursache für die schlechte Qualität war. Phosphor konnte er aber in seinem neuen Apparat nicht entfernen. Man mußte eben phosphorfreie Erze verarbeiten. Was die Westküste zwar wurmte, weil ihre Erze so gut wie wertlos waren, England aber trotzdem

eine gewaltige Überlegenheit gegenüber dem Festland verschaffte, da ihm außer den eigenen phosphorarmen Erzen der Ostküste auch die gleich gut geeigneten Erze an der spanischen Nordküste zur Verfügung standen.

Der englische Student Sidney G. Thomas hat es sich 1878 wohl nicht träumen lassen, daß sein Vorschlag, dem Eisen auch noch den Phosphor zu entziehen, zwar den Westküstlern ein großes Geschenk bereitete, aber daneben in jungen, aufstrebenden, jedoch an Naturschätzen nicht sehr gesegneten Völkern mächtige Konkurrenten groß ziehen würde. Habenichtse mußten auch damals schon versuchen, aus scheinbar Wertlosem ihr Leben zu gestalten. Der Gedanke von Thomas ist im übrigen, chemisch gesehen, sehr hübsch.

Der Phosphor verbrennt natürlich, ebenso wie die anderen Beimengungen, zu seinem Oxyd. Dieses bleibt jedoch im Eisen und verleiht ihm die unangenehme Eigenschaft der Kaltbrüchigkeit. Für sich alleine ist es ein die Feuchtigkeit mit großer Gewalt anziehendes weißes Pulver. Bringt man es mit Wasser zusammen, so zerfließt es. Das Endprodukt dabei ist eine Säure, die, wie könnte es anders sein, Phosphorsäure benannt wird. Im ausgesprochenen Gegensatz zu den Säuren stehen die sich von den Metallen ableitenden Laugen, auch wohl Basen genannt.

Das ganze Bestreben der Natur scheint zu sein, Gegensätze auszugleichen, um so einen indifferenten, gleichmäßigen Zustand zu schaffen. Berge werden vom Wasser abgetragen und füllen die Tiefen der Meere aus; Wärme fließt stets von selbst nur zu kälteren Punkten, — wahrscheinlich wird auch *das* die Ursache für einen Weltuntergang, als den wir ja wohl das Ersterben des Lebens auf unserem Erdball ansehen, sein, und nicht irgend eine plötzliche Katastrophe —, und so suchen sich auch die beiden Gegensätze Säure und Lauge in ihrer gegenseitigen Wirkung aufzuheben, zu neutralisieren. Es entstehen dabei stets Wasser und außerdem Salze, von denen das Kochsalz das bekannteste und berühmteste, wenn auch nicht das einzige ist. Da die beiden streitbaren Molekülarten bei ihrer fast augenblicklichen Vereinigung Wasser ausscheiden, ist es auch möglich, Salze zu erzeugen, indem man den Basen und Säuren schon vorher das Wasser entzieht.

In dem Eisen schwimmen nun die schädlichen Phosphoroxydmoleküle, die mit Wasser Phosphorsäure liefern würden, herum. Sie müssen heraus, wenn das Roheisen zu brauchbarem Stahl verarbeitet werden soll. Thomas schlug nun seinem Vetter, der Hüttenfachmann war, vor, den „sauren" Bestandteil dadurch zu entfernen, daß man die Bessemerbirne mit feuerfestem, „basischem" Gestein auskleidete. Zwar waren schon vorher ähnliche Versuche in dieser Richtung vorgenommen worden, jedoch erst seine Anregung, aus Dolomit—das ist ein derartiges basisches Gestein—eine Art Ziegel zu formen, um damit die Birne auszumauern, führte zum Erfolg. Er bekam in der Tat phosphorfreies Eisen, nachdem die Wirkung durch Hineinschütten von gebranntem Kalk, der mit einem Teil des Phosphorgehaltes eine flüssige, leicht abgießbare Schlacke bildete, noch unterstüzt wurde.

Natürlich erschöpfte sich das Futter der Birne nach einiger Zeit in seiner Wirkung. Dann mußte es herausgeschlagen und durch neues ersetzt werden. Das schien umständlich, zeitraubend und dadurch verteuernd auf das Endprodukt zu wirken, wenn auch nicht zu unterschätzen war, daß jetzt auch bisher wertlose Eisenerze genutzt werden konnten.

In Deutschland hatte nun aber Liebig gezeigt, daß einem dauernd kultivierten Ackerboden die durch die Pflanze entzogenen Nährsalze wieder zugeführt werden mußten, wenn der Ertrag noch in späteren Jahren gesichert sein sollte. Auch lösliche Phosphorverbindungen muß der Boden enthalten. Es erwies sich, daß die zerpulverte Schlacke und die Ausmauerung der Birne, ihr Futter, ein hochwertiges, lösliches und damit für die Pflanze gut aufnehmbares Phosphornahrungsmittel darstellt. Heute kennt und benutzt jeder Landwirt das Thomasmehl, das in riesigen Mengen von den Eisenhütten geliefert wird; 1937 waren es 2,3 Millionen Tonnen.

Thomas konnte selbstverständlich nicht wissen, daß das „Abfallsprodukt" sich zu einer wertvollen Stütze für die Landwirtschaft entwickeln würde. Er wollte nur den englischen Westküstlern helfen. Den gleichen Dienst erwies er aber, und das in erhöhtem Maße, unserem Vaterland. Zweifellos lag das nicht in der Absicht des englischen Erfinders. Wahrscheinlich hatte die britische Eisenindustrie den ärmlichen deutschen Vetter, der sich so entsetzliche Mühe gab, aus dem wenigen, das ihm zur Verfügung stand, sein eigenes Leben zu gestalten, gar nicht einmal auf der Rechnung. Die britische Überheblichkeit stammt ja nicht erst aus unseren Tagen! Tatsache ist aber, daß jetzt auch die früher als minderwertig angesehenen phosphorhaltigen Erze, die hauptsächlich als lothringische „Minette" vorhanden waren, genutzt werden konnten und gerade durch ihren Phosphorgehalt, der erst die Verarbeitung lohnte, der deutschen Stahlindustrie zu ihrem mächtigen Aufstieg verhalf, der so groß war, daß Deutschland 1893 England in der Stahlerzeugung, 1903 in der Roheisenerzeugung und 1913 in der Ausfuhr von Maschinen überholte. Eine bittere Erkenntnis und Tatsache für

den großspurigen Verwandten, die er dem fleißigen Konkurrenten auch niemals verziehen hat, noch verzeihen wird. 1918 schien sein verbissenes Wollen, den tüchtigen Mitbewerber niederzuschlagen, von Erfolg gekrönt zu sein, zumal Frankreich Lothringen mit seinen Erzlagern an sich riß und Deutschland bis auf die heutige Zeit auf die Einfuhr von Eisenerzen angewiesen ist. Der alte Vernichtungswille erwachte aber von neuem, als England erkennen mußte, daß die durch geniale Führung wiedererweckte Lebenskraft des deutschen Volkes es ermöglichte, in rasendem Anstieg die englische Industrie und Wirtschaft erneut zum Kampfe auf den Weltmärkten zu zwingen. England griff zu den Waffen, da es sich zu schwach fühlte, im friedlichen Wettbewerb zu siegen. Der Franzose *glaubt* tatsächlich an Ruhm und Ehre; für den Engländer sind auch diese Begriffe nur Handelsobjekte eines kühlen und gewissenlosen Kaufmannes —, der sich dieses Mal jedoch verrechnet haben dürfte.

Der Phosphorgehalt des Eisens geht erst ins Oxyd über, wenn der gesamte Kohlenstoffgehalt verbrannt ist. Das völlig entkohlte Eisen kann durch Zugabe von Roheisen, das ja reichlich von dem fehlenden Element enthält, wieder in Stahl verwandelt werden. In großem Maßstabe wird das in dem Siemens-Martinverfahren erreicht. Die beiden Franzosen E. und P. Martin brachten es als erste im Jahre 1864 fertig, Roh- und Alteisen (Schrott) auf einem geheizten Herd in Stahl überzuführen. Aber erst als der von den Gebrüdern Siemens erfundene Wärmespeicher zur Anwendung kam, gelang es, die dazu benötigten Temperaturen ohne allzu große Kosten zu erzeugen. Der dabei erzeugte Stahl zeichnet sich durch große Gleichmäßigkeit und Festigkeit aus. 1937 wurden in Deutschland 18,7 Millionen Tonnen Stahl erzeugt, davon stammten 10,7 Tonnen aus dem Siemens-Martinverfahren, 8 Millionen Tonnen waren Thomasstahl. 1938 wurden mit Einschluß der Ostmark allein 18,7 Millionen Tonnen *Roh*eisen und daraus 23 Millionen Tonnen Rohstahl erzeugt, d. h., daß nicht weniger als 4,3 Millionen Tonnen Schrott — das entspricht ungefähr der gesamten Roheisenerzeugung des Jahres 1932 — zu seiner Herstellung benutzt worden sind. Vielleicht verstehen jetzt auch harmlosere Gemüter, warum jedes Stück Alteisen wichtig ist. Der Jude hat das in den Zeiten unseres Niederganges, leider, sehr schnell begriffen; denn damals wurden mit dem Verschieben und dem Verkauf von Schrott, der durch die sinnlose Vernichtung von Waffen und Maschinen in übergroßer Menge zur Verfügung stand, riesige Vermögen ergaunert.

3.

Eiserne Gegenstände bestehen gar nicht aus Eisen. Wenigstens nicht aus *reinem* Eisen. Auf alle Fälle enthalten sie stets gebundenen oder auch gelösten Kohlenstoff. Dieser verleiht dem Metall ja gerade die besonders wichtige und erwünschte Härtbarkeit, so daß daraus Stahl bereitet werden kann. Und wenn wir Eisen sagen, meinen wir meistenteils Stahl.

Sollten nun nicht auch noch andere Beimengungen Veränderungen beim Eisen hervorrufen können? Von verschlechternden ist schon berichtet worden. So, daß Schwefel das Eisen heißbrüchig, Phosphor dagegen das Metall schon kaltbrüchig macht. Weswegen diese Stoffe ja gerade entfernt werden müssen. Gesucht wird natürlich nach die Eigenschaften *verbessernden* Beimengungen.

Schon sorgfältiges Umschmelzen des in den großen Thomasbirnen gewonnenen Flußstahls in kleineren Tiegeln liefert ein sehr viel gleichmäßigeres Produkt, das bedeutend widerstandsfähiger geworden ist. Friedrich und Alfred Krupp haben mit diesem Stahl ihren Weltruf begründet. Heute nimmt man die elektrische Stromwärme zu Hilfe, um das Umschmelzen zu bewirken. Wegen der teuren elektrischen Energie werden auf diesem Wege jedoch nur Edelstahle hergestellt.

Die Ansprüche, die von der Technik an Stahl gestellt werden, sind zuweilen sehr groß. Dabei ist Eisen gar nicht einmal der ideale Baustoff, wie man sich ihn wünschen möchte. Unsummen müssen alleine dafür ausgegeben werden, um Stahl und Eisenkonstruktionen vor dem Verfall durch Rost zu schützen. Mit Wasser und Luftsauerstoff geht das Metall langsam und sicher in das braune, wasserhaltige Oxyd über. Und da dieses zu allem Unglück noch die Eigenschaft hat, neues Wasser anzuziehen und in sich aufzunehmen, können Eisenkonstruktionen, wenn nicht genügend Vorsorge getroffen wird, in verhältnismäßig kurzer Zeit, namentlich natürlich im Freien, zerstört werden. Selbstverständlich sucht sich der Mensch dagegen zu schützen. Er schließt das Eisen einfach von der Luft ab, um es an der Verbindung mit Sauerstoff zu hindern.

Wer hätte nicht schon gesehen, daß neue Eisenkonstruktionen mit roter Farbe bestrichen oder ältere, nach Entfernung des Rostes, auf gleiche Weise behandelt werden? Erst dann erfolgt der gewünschte andersfarbige Anstrich. Die rote „Farbe" ist Mennige. Ein giftiges Bleioxyd, das aus seinem Reichtum leicht Sauerstoff abgibt. Nanu, könnte man sich fragen, das scheint ja eine merkwürdige Rettung des Eisens vor dem Luftsauerstoff zu sein, wenn

man dazu ein sauerstoffabgebendes Molekül auf das Metall bringt?! Das Bleioxyd, lautet die Antwort, soll allerdings seinen Sauerstoff abgeben, aber nicht an das Eisen, sondern an das Öl, in das es verrührt werden muß.

Wir unterscheiden, je nach ihrem äußeren Verhalten, zwei verschiedene Ölsorten. Oliven-, Baumwoll-, Rizinusöl bleiben, um nur einige zu nennen, an der Luft flüssig. Sie werden höchstens ranzig. Andere Ölsorten — und dieses Mal sind wirklich Öle, die Glyzerinester hauptsächlich der Ölsäure, und nicht Kohlenwasserstoffe des Petroleums gemeint — werden dagegen auf die Dauer fest. Allgemein bekannt ist wohl der Bernsteinlack, der, von der Hausfrau auf den Fußboden aufgetragen, im Verlaufe weniger Tage steinhart und spiegelblank den Estrich überzieht. — Das Trocknen kann man durch sauerstoffabgebende Mittel unterstützen, da es sich beim Festwerden des Öles um eine Oxydation handelt. Das tut die Technik mittels Mennige. Sie spielt beim Rostschutz also nur eine sekundäre Rolle, da sie lediglich den Auftrag hat, das das Eisen überziehende Öl möglichst rasch in einen harten Lacküberzug zu verwandeln, um damit das Metall von dem schädigenden Luftsauerstoff abzuschließen. Der Rostschutz verschlingt ungeheure Mengen an Ölen. Und dabei ist er noch nicht einmal ideal, da der Lack nur gar zu gerne bricht, abblättert und damit dem Sauerstoff erneut den Angriff auf den begehrten Gefährten ermöglicht. Das einzige Mittel schien zu sein, den Rost an den beschädigten Stellen zu entfernen und dann einen neuen Ölanstrich darauf zu bringen, wie man das häufig Gelegenheit hat zu sehen.

Die Technik bemüht sich natürlich mit aller Kraft, dem Eisen seine Ungezogenheiten abzugewöhnen. In großen Instituten wird tagaus tagein an der Verbesserung der Eisensorten gearbeitet. Das ist keine leichte Arbeit, da diese Aufgabe nur durch Zusätze zu erreichen ist, die sich in ihrer Wirkung als beigemengter Bestandteil zunächst jeder chemischen Prognose entzogen, sich gegenseitig auch in nicht vorauszusehender Weise beeinflussen können. Die Erfolge der letzten Jahrzehnte, die wir vor allen Dingen den Untersuchungen mit Röntgenstrahlen zu verdanken haben, sind jedoch groß, doch scheinen wir erst am Anfang des neuen Weges zu stehen. Vielleicht sind wir sogar damit erst am *Beginn* der Eisenzeit angelangt. — Vielleicht!

Berühmt geworden und auch dem Laien bekannt sind die nicht rostenden Stahlarten. Nirosta verdankt seine neuen Eigenschaften in der Hauptsache dem hohen Chrom- und Nickel- und geringen

Kohlenstoffgehalt. Damit ist auch zugleich die Antwort darauf gegeben, warum denn jetzt nicht *nur* und überall dieser edle Eisenvertreter in der Technik verwendet wird. Chrom und Nickel sind, weil relativ selten, verhältnismäßig teure Metalle. An beiden Elementen ist Deutschland außerdem recht arm, so daß es bei Nickel z. B. zu 99 % auf die Einfuhr angewiesen ist. Nicht viel anders liegt es bei Chrom, das jedoch aus mit Deutschland befreundeten benachbarten Nationen in reicherem Maße zu beziehen ist. So wird es verständlich, wenn nicht jedem Stahlträger die an und für sich so schätzenswerte Rostfreiheit verliehen werden kann, sondern man sich hierin auf die Herstellung von besonders hochwertigen Instrumenten oder Gebrauchsgegenständen beschränken muß.

Im übrigen gibt es kaum ein Metall, das nicht zur Veredlung des Eisens herangezogen wird. Chrom, Wolfram und Mangan sind Mittel, um die Härte des Grundmetalls zu steigern. In den Chromnickelstählen, die sich durch große Festigkeit und Dehnbarkeit auszeichnen, bietet sich ein vorzügliches Material für die Panzer unserer Kriegsschiffe und für stark beanspruchte Kraftwagenteile; Wolfram, Chrom und Vanadium erhalten dem Stahl auch noch bei hohen Temperaturen, die sonst für ihn gefährlich sind, sich aber beim Bohren und Drehen zwangsläufig einstellen, seine Härte. Das teure Nickel ersetzt man heute lieber, wenn irgend möglich, durch das weit billigere Molybdän; auch Wolfram muß dem gleichen Element in vielen Fällen den Platz räumen. Wenn bisher schon Namen von Metallen genannt worden sind, die nur den wenigsten bekannt sein dürften, so findet sich in dem früher ebenso im Schatten stehenden Element Beryllium ein Stoff, der vielleicht noch zu sehr großen Aufgaben berufen ist. Schon mit zweiprozentigem Legierungsanteil läßt sich eine dreifache Härte des Eisens erzielen. Da dieses Metall noch leichter als Aluminium ist, zeigt sich hier möglicherweise auch noch der Weg, den zweiten erheblichen Nachteil des Eisens, sein großes Gewicht, wenigstens in etwas zu mildern. Hergestellt wurde dieses seltsame Element übrigens schon im Jahre 1828 durch Wöhler. Federstahl verdankt seine Kraft beigemengtem Silizium; das zu den seltenen Erden gehörende Cer, welches auch im Auerglühlichtstrumpf vertreten ist, macht den Stahl so hart, daß er zum Funkenschlagen in unseren Feuerzeugen benutzt wird; Kadmiumzusatz liefert rostsichere Schrauben, namentlich für die Kraftwagenindustrie; Kobalt beeinflußt die magnetische Kraft des Eisens, wie das auch geringe Zusätze von Aluminium und Silizium in ganz erheblichem Maße tun, — man findet fast kein Ende in der Auf-

zählung der das Eisen sehr wesentlich beeinflußenden Zusätze. Und es ist auch nicht anzunehmen, daß unsere Technik hier bereits alle Geheimnisse des nun schon so lange benutzten Metalls erkundet hat.

4.

Deutschlands überragende Stellung in der europäischen Eisenproduktion erlitt 1918 einen gewaltigen Stoß. Trotz der großen Eisenerzmengen, die vor dem Weltkriege im eigenen Lande gefördert wurden, mußte Deutschland doch noch erhebliche Mengen davon einführen. Nach dem verlorenen Kriege jedoch wurde den Eisenhütten durch die Fortnahme von Elsaß, Lothringen und Oberschlesien beinahe völlig die Basis entzogen. Vornehmlich auf die lothringische Minette war der ganze Hochofenbetrieb zugeschnitten; von den im letzten Friedensjahr 1913 geförderten 28,6 Millionen Tonnen Erz lieferte Lothringen allein 21,13 Millionen t. Nun war Deutschland zu nicht weniger als 80 % (!) auf ausländische Einfuhr angewiesen. Es wird für alle Zeiten von der unerhörten Kraft und dem nie versagenden Lebenswillen des deutschen Volkes zeugen, daß es trotz dieser unerträglichen Belastung seine Spitzenstellung auf dem Eisenmarkt halten konnte. 1938 erzeugte Deutschland sogar mehr Roheisen und Rohstahl als England, Frankreich und Belgien *zusammen!* Wir werden darin nur noch von den Vereinigten Staaten von Nordamerika übertroffen. Neben den chemischen Erzeugnissen sowie Kohlen und Koks bilden Eisen und die daraus hergestellten Produkte den Hauptaktivposten bei unseren Ausfuhrgütern; im Jahre 1937 machten diese drei Stoffarten zusammen wertmäßig fast 60 % der gesamten Ausfuhr, das Eisen allein rund $^1/_3$ — das bedeutet wiederum etwa $1^1/_2$ mal soviel wie Chemikalien und Kohlen zusammen — aus.

Wenn Deutschland sich nun auch inzwischen das oberschlesische Bergwerksrevier zurückgeholt hat — und auch die lothringische Minette wird in deutscher Hand bald ihre große Rolle wieder spielen —, so bleibt es trotzdem noch bei den gewaltigen Erzeugungsmengen in bedauerlich starkem Maße auf die Einfuhr von Eisenerzen angewiesen. Es ist selbstverständlich, daß eine verantwortungsvolle Führung sich nach allen Mitteln umsieht, um sich von diesem Zwang, der in Feindeshand zum tödlich drosselnden Strick werden kann, zu befreien. Wenn man hört, daß Deutschland im Jahre 1938 von den 38 Millionen Tonnen Erz trotz lebhaft vorwärts getriebener Entwicklung nur 13 Millionen Tonnen selber förderte, von denen 2 Millionen t die heimgeholte Ostmark lieferte, so ist das vorläufig gesteckte Ziel, bis zur Hälfte des Eisenerzverbrauches

im eigenen Lande zu fördern, schon recht hoch. Es wird aber in Kürze erreicht! Gewißheit gibt uns nicht allein die geballte Tatkraft eines ganzen Industrievolkes, sondern schon der Erfolg früherer Jahre. Während nämlich die deutschen Eisenerzgruben 1932 nur 1,3 Millionen t förderten, lieferten sie 1934 bereits 4,3 und 1938 das gleiche Reichsgebiet 11 Millionen Tonnen. Immerhin liegt in der Abhängigkeit vom Auslande, das uns bisher die fehlenden Mengen gegen gutes Geld lieferte, — 1937 waren es 221,9 Millionen Mark — eine große Gefahr für unser nationales Leben. Nicht umsonst wird unser Hauptlieferant Schweden von Deutschland nicht Wohlgesinnten bedrängt! Natürlicher Reichtum ist nicht immer ein Segen für ein Land. Davon wissen auch andere Staaten in kritischen Zeiten ein Lied zu singen.

Auch die lothringische Minette galt anfangs, das zeigt schon ihr Name an, ebenso wie das Erz der englischen Westküste als minderwertig. Und doch hat deutscher Erfindergeist und deutsche Tatkraft nach vielen entmutigenden Versuchen eine der gewaltigsten Großindustrien darauf aufgebaut. Während andere Länder es wegen ihres Bodenreichtums nur selten nötig haben, auf in ihren Augen minderwertige Stoffe zurückzugreifen, muß das in unserem Vaterlande sehr häufig geschehen. Reich sind wir nur an Kohle, Stein-, sowie Kali- und Magnesiumsalzen. Alles andere findet sich nur in Mengen und Formen, die reichere Länder kaum zur Ausbeute veranlassen könnten. Wenn wir „Habenichtse" es trotzdem wagen wollen, unter diesen für uns wenig günstigen Umständen in die wirtschaftliche Arena zu treten; wenn wir es sogar versuchen wollen, auf den Weltmärkten den glücklicheren Besitzern Konkurrenz zu machen, dann bedeutet das ein erhöhtes Maß an verbilligenden Sparmaßnahmen, die nur durch genaueste wissenschaftliche Untersuchungen zu erzielen sind; dann muß das ferner aber auch eine Steigerung in der Güte des erzeugten Produktes bedeuten, welche alle die glücklicheren Ländern von der Natur gegebenen Vorteile wieder wettmacht. Wir haben gelernt, aus scheinbar Wertlosem wertvollste Güter herzustellen. So hat England sich seinerzeit wohl kaum träumen lassen, daß die zur Abschreckung der Kunden verlangte Bezeichnung für deutsche Waren „made in Germany" sich zur besten Reklame für deutsche Gütererzeugnisse entwickeln würde. Wir danken noch nachträglich dafür.

Und wir werden — und müssen — trotz aller Anfeindungen auf dem gleichen Wege fortschreiten. Auch bei der Eisenerzförderung. Haben wir es erst einmal so weit gebracht, daß die Hälfte des Verbrauches eigenen Gruben entstammt, so wird bald genug das

Ziel höher gesteckt werden. Abhängig bleiben wir in dieser Absicht aber natürlich immer von dem heimatlichen Boden, der die benötigten Erze hergeben soll. Der ist dann erst einmal gründlichst untersucht und auf seinen voraussichtlichen Gehalt an Eisen geschätzt worden. Es ist dabei gegangen, wie es beim Aufräumen einer Rumpelkammer auch häufig geschieht. Zwar hat man dort ebenfalls keine großen Reichtümer gefunden; aber Dinge, die man vor Zeiten achtlos beiseite geschoben hat, werden wieder freudigst als durchaus nützlich begrüßt, wobei man nicht einmal ausschließlich an die inzwischen wieder modern gewordene großmütterliche Kleidung zu denken braucht. Auch die Untersuchung des Heimatbodens hat keine unbekannten reichen Eisenerzlager enthüllt. Wir sind jedoch sehr *reich* an *armen* Eisenerzen. Ich gestehe, daß das kein schönes Wortspiel ist. Gemildert wird es aber erheblich dadurch, daß unsere Bemühungen, auch diese Erze für unsere Zwecke zu nützen, durchaus von Erfolg gekrönt sind. Ja, noch mehr. Zwar können wir uns mit englischem, amerikanischem und vor allen Dingen französischem Reichtum an hochprozentigen Eisenerzen nicht im entferntesten messen, doch haben sich teilweise die schon seit langem bekannten Fundstellen als überraschend stark herausgestellt. So kann das Harzvorland, in dem die Hermann-Göring-Werke zur Verwertung dieser Erze entstehen, ganz allein 400 Jahre lang Jahr für Jahr 10 Millionen Tonnen Erz liefern. Vielleicht etwas weniger, vielleicht aber auch noch mehr. Ganz neue und sicher auch noch verbesserungsfähige Verhüttungsmethoden vermögen uns zugleich in Aussicht zu stellen, daß wir uns dermaleinst wahrscheinlich ganz unabhängig von ausländischem Bezug machen können.

5.

Not macht erfinderisch! Kein anderes Sprichwort gibt besser die Richtlinie für die Arbeit des deutschen Chemikers an. Höchstens noch: Wo ein Wille, da ist ein Weg.

Wenn der Chemiker ganz frei schalten könnte, wenn er nicht immer auf die leidigen Kosten, die in dem Falle der Eisengewinnung, falls man mit den erzeugten Produkten auch auf dem Weltmarkt tonangebend bleiben will, eine überragende Stellung einnehmen, Rücksicht nehmen müßte, könnten die brennenden Fragen natürlich ganz anders angepackt werden und wären spielend leicht zu lösen. Schwierig wird die Angelegenheit aber, wenn trotz ungünstiger Voraussetzungen ein Produkt geschaffen werden soll,

das mindestens ebensogut wie das des unter besseren Bedingungen arbeitenden Konkurrenten, wenn möglich sogar noch billiger als dessen Erzeugnis sein soll. Deutschland besitzt Erfahrungen in diesem Kampf, da es fast stets unter derartigen Voraussetzungen hat arbeiten müssen. Wird nun noch der privaten Initiative jede irgend denkbare staatliche Förderung, nicht allein geldliche, zuteil, so ist es nicht zu verwundern, daß der frischfröhliche Angriffsgeist des deutschen Chemikers auch bei der Verhüttung der eisenarmen Erze schon große Erfolge erzielt hat.

Da dem Hochofen, wenn er nicht durch zu hohen Koksverbrauch zu teuer arbeiten soll, nur hochprozentiges Eisenoxyd mit seinen Zuschlägen zugeführt werden kann, müssen arme Erze — das ist die erste selbstverständliche Forderung — vorher zum größten Teil von ihren Beimengungen befreit werden. Und das darf nicht zu teuer werden.

Hier kann sich nun einmal ausnahmsweise das sonst nicht gerade so sehr beliebte hohe Gewicht der Eisenverbindungen zum Vorteil auswirken. Die angewandte Methode ist nicht neu. Wie der Goldwäscher den schweren Goldstaub im Siebe durch fließendes Wasser, das die leichteren Gesteinsteilchen fortschwemmt, zurückbehält, — wer hätte das nicht schon in so manchem Film miterlebt oder zumindest in Goldgräberromanen beschrieben gefunden —, so kann man auch die Eisenerze zerkleinern und durch Schlämmen, bei dem die schweren eisenhaltigen Teile sich zuerst absetzen, von dem unerwünschten Kieselsäureüberschuß, um den es sich bei den deutschen Erzen meistens handelt, befreien.

Die beiden anderen zurzeit in Gebrauch genommenen Verfahren sind eigentlich hübscher, weil sie neuartige Gedanken in die Technik eingeführt haben. Doch zu ihrem Verständnis muß ein klein wenig weiter ausgeholt werden.

Das Eisen ist merkwürdigerweise imstande, drei verschiedenartige Oxyde zu bilden. Dem Chemiker ist dieses Verhalten, das er auch bei anderen Elementen festgestellt hat, allerdings nicht so unbekannt. Je nach den Umständen muß das Metall also verschiedene Wertigkeiten äußern können. Die beiden uns im Augenblick interessierenden Oxyde besitzen die Formeln Fe_2O_3 und Fe_3O_4. Prozentual enthält Fe_2O_3 mehr Sauerstoff als Fe_3O_4. Im ersten Augenblick sieht es so aus, als ob das Fe_3O_4 sauerstoffreicher ist. Da bei Fe_2O_3 jedoch drei Sauerstoffatome auf 2 Fe, im Fe_3O_4 dagegen vier Sauerstoffatome auf drei Eisenatome kommen, kann leicht ausgerechnet werden, — vielleicht darf *ich*

das für den Leser tun — daß Fe_2O_3 30 v. H., Fe_3O_4 jedoch nur 27,6 v. H. Sauerstoff enthält.

Eisen selbst ist magnetisch. Das ist allgemein bekannt. Die Technik benutzt dieses Verhalten, um mittels großer Magnete Wagen mit Eisenabfällen oder Eisen schnell zu entladen. Die gleiche Eigenschaft besitzt nun auch Fe_3O_4; sie fehlt dagegen, leider, dem Fe_2O_3. Durch vorsichtiges Entziehen von Sauerstoff kann Fe_2O_3, bevor es unter Verlust des ganzen Sauerstoffs zu Eisen wird, in Fe_3O_4 übergeführt werden.

Diesen Weg schlägt die zweite neuartige Aufbereitungsmethode ein. In großen drehbaren Eisenzylindern, sogenannten Drehrohröfen, wird das zerkleinerte, rohstoffarme Erz dem Einfluß von Flammengasen ausgesetzt, die imstande sind, Sauerstoff zu binden. Das dadurch zu Fe_3O_4 reduzierte (zurückgeführte) Erz wird über starke Elektromagnete geführt, an denen es hängen bleibt. Die gewünschte Trennung von der Gangart ist erreicht. Das Fe_3O_4 kann nunmehr, befreit von allzuvielem unerwünschten Ballast, dem Hochofen zur weiteren Verarbeitung zugeführt werden.

Krupp führt die Reduktion des Eisens im Drehrohrofen sogar bis zu metallischem Eisen durch. Allerdings muß dazu die angewandte Temperatur bedeutend gesteigert werden. Das abgeschiedene Metall schmilzt zu Klumpen, die wiederum leicht von der halbflüssigen Schlacke, welche sich aus der Gangart gebildet hat, zu trennen sind. Das so gewonnene Eisen kann direkt zur weiteren Veredlung der Thomasbirne zugeführt oder auch als Zusatz im Siemens-Martin- oder Elektroofen verwendet werden. Es braucht also nicht erst der Hochofen durchlaufen zu werden. Erfreulich ist auch, daß man für die beiden letzten Verfahren die reichen Braunkohlenlager, die sich noch dazu meist in günstigerer Lage zu dem Eisenerzvorkommen finden als die teurere Steinkohle, als Flammengasspender verwerten kann.

Wenn dann zum Schluß noch erzählt wird, daß ein Zusatz von geschmolzener Soda es gestattet, nunmehr auch sehr stark schwefelhaltige, früher fast unverhüttbare Erze in der Thomasbirne zu veredlen, so sind wir damit sicher noch nicht am Ende aller verbessernden Methoden angelangt. Die letzte hat z. B. zu der überraschenden Beobachtung geführt, daß nach dieser Entschwefelung auf Manganzusatz verzichtet werden kann, den man noch vor wenigen Jahren für unbedingt nötig hielt, um dem Endprodukt die gewünschten stählernen Eigenschaften zu verleihen. Deutschland ist mit dieser Entdeckung ein ganz großes Geschenk gemacht worden; denn da Manganerze sich in unserem Lande so gut wie gar nicht

finden, hätte sich dieser Mangel in kritischen Zeiten unliebsam bemerkbar machen können. Wir sind aber natürlich auch nicht darüber böse, daß unter normalen Bedingungen unserer Handelsbilanz eine fühlbare Entlastung zuteil wird.

6.

Es sieht nach all diesen Mitteilungen nicht gerade danach aus, als ob die Eisenzeit im Abklingen ist. Wir wollen zunächst aber mit unserem Urteil noch etwas vorsichtig sein; denn zweifellos sind diesem Schwermetall gefährliche Mitbewerber auf manchem Gebiete erwachsen.

Schon 1827 war es Friedrich Wöhler gelungen, das Leichtmetall Aluminium aus einer seiner Verbindungen freizumachen. Das war nicht ganz einfach, da dieses Element eine starke Bindungsfähigkeit an andere Grundstoffe, vor allem auch an Sauerstoff, besitzt. Nun gibt es jedoch Elemente, die eine *noch* größere Affinität besitzen als Aluminium, wie etwa das Kalium, welches ein Bruder des früher gekennzeichneten Natriums, allerdings noch mit verstärkten Eigenschaften, ist. Mit Hilfe dieses Elementes gelang es Wöhler, das im Aluminiumchlorid gebundene Chlor zu entziehen und eine geringe Menge Aluminiumpulver zu gewinnen. Seine Veröffentlichung darüber fand nur in der Fachwelt Interesse; denn man konnte unmöglich vermuten, daß dieses Metall, dessen Herstellungsart einen untragbaren Preis bedingen mußte, jemals dazu berufen sein würde, eine Rolle zu spielen.

Schon zwanzig Jahre früher hatte der Engländer Davy, der als Erfinder der Grubensicherheitslampe — einer Nebenerfindung wie Liebigs Fleischextrakt — auch weiteren Kreisen bekannt geworden ist, gezeigt, daß sich mit dem durch des Italieners Volta in seiner Säule verstärkten elektrischen Strom Bindungen zwischen den Elementen trennen lassen. Ihm gelang es auf diese Weise, Kalium und Natrium darzustellen. Den Aluminiumverbindungen gegenüber versagte allerdings Davys Kunst, trotzdem er einigermaßen voreilig dem neuen, wie er hoffte, aus Alaun zu gewinnenden Metall bereits den heute noch gültigen Namen gab. Es bedurfte wesentlich größerer elektrischer Energien, als sie der damaligen Zeit zur Verfügung standen, um diesen Weg bis zu Ende zu gehen. Zum ersten Male gelang es Robert Bunsen mit seinem neukonstruierten und später nach ihm benannten Tauchelement, das weit stärkere Ströme als die Voltasche Säule liefern konnte, Aluminium aus dem Schmelzfluß einer Verbindung zu gewinnen. Aber erst die Erfindung der Dynamomaschine durch Werner von Siemens, mit

der beliebige Mengen von Strom auf wirtschaftlich tragbare Weise zu schaffen waren, ermöglichte die Großindustrie. Als es dem jungen Münchner Kiliani dann gelang, auch noch die letzten Schwierigkeiten bei der Reindarstellung des Metalls zu überwinden, hätte man glauben sollen, daß nunmehr die Fabrikanlagen wie Pilze aus der Erde schießen würden. Aber weit gefehlt.

Schon vor diesem letzten Entwicklungsstadium hatte das neue Metall, von dem man vor allen Dingen in der Wehrtechnik eine umwälzende Entwicklung erwartete, das Interesse außerhalb Deutschlands gefunden. Namentlich der jedem technischen Fortschritt zugewandte Franzosenkaiser Napoleon III. suchte seinem Lande den nötigen Vorsprung zu verschaffen. Auf Aluminiummedaillen ließ er bereits sein und Wöhlers Antlitz prägen. Doch alle Pläne für die großtechnische Ausnutzung scheiterten an dem hohen Herstellungspreis. 1854 kostete 1 kg 2400 Mark! Zu Beginn der elektrochemischen Gewinnung, 1888, kostete es nur mehr 56 ℳ, um in unseren Tagen auf den Preis von noch nicht 1½ ℳ abzusinken! Damit konnte es zum Gebrauchsmetall werden.

Aluminiumverbindungen gibt es an und für sich in Hülle und Fülle in unserer Erdrinde. Mehr sogar als Eisenerze. Aber nicht alle Molekülarten lassen sich das Metall so einfach entwinden. Man mußte lange suchen, ehe man einen für die technische Gewinnung geeigneten Ausgangsstoff entdeckte. Er fand sich zunächst in einer besonders reinen Form von Aluminiumoxyd in größeren Mengen in der Nähe eines kleinen südfranzösischen Ortes, nach welchem es Bauxit genannt wurde. Noch heute besitzt Frankreich die reichsten Vorkommen an diesem Stoff, wenn inzwischen auch die eifrige Suche noch andere Fundstellen aufgezeigt hat. Sogar in Deutschland. Bis vor kurzem mußte aber doch fast das gesamte Rohmaterial aus dem Auslande bezogen werden, und wenn auch dafür noch nicht ¹/₁₀ des Preises für das gewonnene Endprodukt ausgegeben wurde, so mußte doch schon aus diesem Grunde alle Kraft darauf gerichtet werden, aus den überall reichlich vorkommenden Aluminiumverbindungen, von denen nur so bekannte wie Ton, Lehm, Glimmer, Feldspat und Granit genannt seien, das Rohmaterial selber zu gewinnen. Daß die Abhängigkeit vom Auslande, welches ja zuweilen recht unfreundliche Mienen aufsetzen kann, ein zweiter Ansporn für dahin gehende Versuche war, versteht sich am Rande. Wir sind auf dem besten Wege, das gesteckte Ziel zu erreichen. Eine ganze Reihe von Verfahren zeigt gangbare Lösungen auf, so daß es heute möglich ist, auch die deutsche Tonerde für die Erzeugung einzusetzen, ohne daß eine wesentliche

Verteuerung des Metalls, trotz der vorbereitenden Arbeiten, dadurch eintritt. Das ist in diesem Falle besonders wichtig. Denn nach der geradezu sträflichen Vernachlässigung, die den rein deutschen Erfindungen zuteil wurde, einer Vernachlässigung, die anderen Staaten mittels deutscher Patente zunächst einen großen Vorsprung verschaffte, hat sich Deutschland jetzt bei weitem an die Spitze aller Produzenten gesetzt, so daß man heute das Aluminium als das deutsche Metall bezeichnet. Trotz des ausländischen Rohmaterials, das wegen der gewaltigen Erzeugungsmenge des Metalls die Einfuhrbilanz Jahr für Jahr mit vielen Millionen belastete. 1935 waren es über 10 Millionen ℛℳ. Da lohnt es sich schon, die eigenen Bodenschätze nutzbar zu machen. Rund ein Drittel der Welterzeugung an dem Leichtmetall liefert Deutschland; sein alter Konkurrent Frankreich liegt — trotz eines natürlichen Bauxitreichtums — weit abgeschlagen im Felde, und selbst die Vereinigten Staaten von Nordamerika, in denen sich doch alle europäischen Verhältnisse, Verfahren, Vorkommen — bis auf die Kultur — in stark gesteigertem Maße finden, hat, ein seltener Fall, nicht ganz Schritt halten können. Und dabei ist der Hunger nach diesem neuen Metall noch immer nicht voll zu befriedigen.

Schon vor Jahrzehnten glaubte man, daß, falls es gelänge, die Gewinnung rentabel zu gestalten, das Aluminium dazu berufen sei, das Eisen als Gebrauchsmetall abzulösen. Sein geringes Gewicht, das nur etwa ein Drittel von dem des Eisens beträgt, ist sein bestechendster Vorteil gegenüber dem Schwermetall. In der Tat wäre die Entwicklung von Luftschiff und Flugzeug undenkbar ohne die Mitwirkung der Leichtmetalle. Aber auch bei anderen Verwendungszwecken, sei es bei Brückenkonstruktionen, Hoch- oder Tiefbau, Panzerung, Kraft- und Eisenbahnwagen und vielem anderen mehr, wäre eine Verminderung des Materialeigengewichts zugunsten des Nutzgewichts, das in vielen Fällen beschämend niedrig liegt, durchaus am Platze und hocherwünscht. Diese Hoffnungen glaubte man durch die Verwendung von Aluminium verwirklichen zu können. So groß die Hoffnung, so groß war auch zunächst die Enttäuschung. Erst langjährige Erfahrung und viele, viele Untersuchungen haben dem Aluminium tatsächlich, namentlich in Form seiner Legierungen, eine Stellung erobert, die seinem verlockend günstigen leichten Gewicht einigermaßen angemessen ist. Es kann aber gar keine Rede davon sein, daß es imstande ist, das Eisen auf seinen Hauptgebieten zu verdrängen. Jedenfalls *noch* nicht.

Zunächst einmal ist es, das wird sicher Verwunderung erregen, in Wasser löslich. Ich sehe in Gedanken den Leser den Kopf schütteln, denn der heimatliche Kochtopf scheint meine Worte empfindlich Lügen zu strafen. Ich muß jedoch leider bei meiner Behauptung bleiben. Reines Aluminium löst sich ziemlich schnell unter Wasserstoffentwicklung in Wasser auf. Die äußere Schicht des Kochtopfes besteht nämlich gar nicht aus Aluminium. Das Metall hat sich an der Luft sofort mit dem Sauerstoff zum Oxyd verbunden. Und dieses grauweiße Oxyd benimmt sich gottlob anständiger als das braune Eisenoxyd, der Rost, der sich immer weiter in das Schwermetall hineinfrißt und es so langsam, aber sicher unbrauchbar macht. Aluminiumoxyd dagegen *schützt* das darunter liegende Element vor weiteren Angriffen. Beseitigt man es, etwa durch mechanisches Abscheuern, so bildet es sich sofort wieder, so daß Befürchtungen über zu große Reinlichkeit in Küche und Haus, wie wir Männer sie ja zuweilen hegen, nicht aufkommen können. Jedenfalls soweit es Aluminiumgeschirr angeht. Gelingt es allerdings, die Oxydschicht wirklich zu beseitigen, so ist kein Halten mehr. Das Aluminium verwandelt sich dann mit Wasser in ein graues, unansehnliches Pulver, eben sein Oxyd. Man kann das mit chemischen Mitteln leicht erreichen. Im allgemeinen vermag jedoch die dünne Oxydschicht das darunter liegende Metall vor den Angriffen, wie sie von chemischen Einflüssen des Alltags ausgeübt werden, zu schützen.

Leider übt aber Seewasser auf die Dauer eine stark zersetzende Wirkung auf das Metall aus. Man kann also keinenfalls darauf hoffen, die Panzerung der Schlachtschiffe etwa auf das dreifache zu verstärken. (Was uns Deutschen im Augenblick gar nicht so unangenehm ist.) Aber auch die Handelsschiffahrt muß das schwere Eisen weiter benutzen, wie sie auch auf den äußeren Kupferbelag der Schiffsplanken nicht verzichten kann.

Ehrlich gesagt, war zunächst überhaupt nicht zu erwarten, daß die bisherigen Gebrauchsmetalle einen ernsthaften Konkurrenten in dem neuen Leichtmetall finden würden. Ich besitze noch eine alte Aluminiumfolie aus den Jahren vor dem Weltkriege, die das frühere sogenannte „Silberpapier" als Umhüllung ablösen sollte. Sie ist hart und spröde. Und wenn die Opernbesucherin ihre Schokolade gerade in dem Augenblick auswickelt, wo der fliegende Holländer mit seinem gespenstischen Schiff auf die Bühne fährt, kann sich der Inspizient die Mitwirkung der Donnermaschine ruhig ersparen. Heute läßt sich die Folie weich und biegsam gestalten, so daß sie von Stanniolpapier nicht zu unterscheiden ist. Aluminium läßt sich

auch löten, was noch vor wenigen Jahrzehnten unmöglich war, der Verwendung aber außerordentliche Hindernisse in den Weg legte. Heute ist selbst diese Schwierigkeit überwunden. Und man hat sogar verstanden, das an und für sich Zug und Druck gegenüber wenig widerstandsfähige Element zu härten, so daß es sein Anwendungsgebiet erheblich hat ausdehnen können. Auch das Roheisen verändert durch nachträgliche Behandlung mit geeigneten Zusätzen ja ganz wesentlich seine Eigenschaften. So läßt sich jetzt selbst das gut leitende Kupfer, das bei uns, wo nur irgend möglich, gespart werden muß, durch Aluminium als Leitungsdraht für Hochspannungen ersetzen. Überall im Leben begegnet uns das neue Metall jetzt, nicht nur in Form von Küchengeräten, sondern auch als Rohrleitungen und Reißverschlüsse, Bilderrahmen und Plomben, Flaschenkapseln, Tuben, Orgelpfeifen, Dachbedeckungen, Beschläge, — ja, man weiß nicht, wo man beginnen und wo man aufhören soll, und man weiß gleicherweise noch nicht, ob der Siegeszug erst anfängt, ob die Schwermetalle nicht auf noch vielen anderen Gebieten den Rückzug antreten müssen. Denn das Aluminium ist ja nicht das einzige Leichtmetall, das den eingebürgerten schweren Helfern der Menschen das Leben schwer macht. Auch Magnesium, vielleicht sogar noch bedeutend leichtere Elemente wie Beryllium, Natrium und Kalium warten darauf, daß wir sie, ihrer ungebärdigsten Eigenschaften entkleidet, unseren Zwecken dienstbar machen.

Sie lassen sich alle auf die gleiche Weise aus den Rohstoffen erzeugen; wie denn überhaupt sich die ganze Metallgewinnung im Grunde auf nur drei verschiedene Methoden zurückführen läßt. So einfach arbeitet die Chemie!

Einmal geht man hin und findet die Metalle einfach im elementaren Zustande, wie das etwa bei Platin, Gold, Silber und Kupfer, die sich nur schwer mit anderen Elementen verbinden, der Fall ist. Der zweiten Gruppe entzieht man, nachdem die Elemente nötigenfalls in die Oxydform übergeführt worden sind, mittels Kohlenmonoxyd den Sauerstoff. Der berühmteste Vertreter dieser Verhüttungsart ist das Eisen. Aber auch Zink, Zinn, Kadmium, Blei und eine ganze Reihe weniger bedeutender Metalle werden auf diese Weise freigemacht. Die dritte, uns augenblicklich am stärksten interessierende Gewinnungsart ist die elektrolytische Methode.

Dazu müssen die Verbindungen der Metalle zunächst einmal geschmolzen werden. Das ist nicht immer so einfach, wie sich das ausspricht. Vielleicht ist uns noch in Erinnerung, daß trotz der reichlich vorkommenden Aluminiumverbindungen für die Metall-

gewinnung fast ausschließlich der Bauxit sich als geeignet erwies. Häufig kann man früheres Schmelzen durch Zusatz eines „Flußmittels" erreichen. Die Tatsache, daß Deutschland sich diese Beimengung aus Grönland in Form des Minerals Kryolith besorgte, beweist, daß auch *das* seine großen Schwierigkeiten bietet. Und selbst mit diesem Kunstmittel lassen sich die meisten Aluminiumverbindungen nicht zum Schmelzen bringen. Was auch nicht *immer* von Schaden ist; denn dann brauchen wir das wenig angebrachte Bestreben, sich in den flüssigen Zustand zurückzuziehen, weder von Teller und Tasse, noch von Ziegelstein oder gar von Granit erwarten.

Es gehören schon ganz tüchtige Temperaturen und, außerdem, Kunstgriffe dazu, um der widerspenstigen Aluminiumverbindung unseren Willen aufzuzwingen. Da man zur Abscheidung des Metalls *doch* des elektrischen Stroms bedarf, erzeugt man auch gleichzeitig die zum Schmelzen nötige Wärme durch ihn. Das bietet außerdem den großen Vorteil, daß keine erheblichen Wärmeverluste durch Übertragung auftreten.

Der „Ofen" zur Gewinnung des Aluminiums besteht aus einem Kasten aus Eisenblech, der unten und an den Wänden mit festgestampfter Kohle bedeckt ist. Das Ganze dient als der eine große Pol für die Elektrizität. Die hineingefüllte, zunächst feste Masse wird zuerst durch den sehr heißen Lichtbogen mehrerer mächtiger Kohlestifte zum Schmelzen gebracht. Ist das geschehen, dann beginnt erst die eigentliche Trennung der Elemente voneinander. Die Kohlestifte werden in die flüssige Masse getaucht, der Flammenbogen verlischt, und die Kohle dient nunmehr als der zweite, positive Pol für die Elektrizität. Sie fließt also jetzt von den Stäben zu den ausgekleideten Wänden und dem Boden. Das kann das geschmolzene Aluminiumoxyd, wie viele andere Metallverbindungen auch, nicht vertragen. Das Aluminium begibt sich an den negativen Pol — übrigens ist das die Regel für *alle* Metalle —, und der Sauerstoff scheidet sich an den Kohlstäben ab, die er in seiner Untröstlichkeit über den Verlust seines langjährigen Lebensgefährten zum gasförmigen Kohlenmonoxyd verbrennt. Weswegen die Stifte hin und wieder nachgestellt werden müssen. Das Aluminium sammelt sich am Boden des Kastens an und wird von Zeit zu Zeit abgelassen.

Der Verbrauch an Elektrizität ist bei diesem Verfahren ganz gewaltig. Auch wir wissen, daß viel Stromenergie nötig ist, um Wärme zu erzeugen. Viel mehr z. B., als für Beleuchtungszwecke nötig ist. Das Verfahren ist infolgedessen nur dort anwendungs-

fähig, wo billige Elektrizität aus Wasserkräften oder aus in der Nähe befindlichen Braunkohlelagern zu gewinnen ist.

Auf ähnliche elektrolytische Weise wie Aluminium wird auch ein weiteres Leichtmetall gewonnen, das zusammen mit Aluminium berufen zu sein scheint, als Ersatz- und Austauschstoff sowohl als auf arteigenen Gebieten die Schwermetalle immer weiter zurückzudrängen.

Ich spreche vom Magnesium, das, auf der Erde reichlich vertreten, wenn auch nicht ganz soviel wie Aluminium und Eisen, sich gerade in Deutschland sehr häufig und, Gott sei Dank, in Form recht verwendungsfähiger Verbindungen findet.

Man kann zur Gewinnung das Gestein Dolomit benutzen, das in Deutschland ganze Gebirgszüge bildet und uns schon einmal als basisches Futter der Thomasbirne aus der Not geholfen hat, als es hieß, den Phosphor aus dem Eisen zu entfernen. Ebenso häufig und mindestens ebenso bequem läßt es sich aber aus Abraumsalzen und deren Ablaugen gewinnen.

Wenn man genügend Platz hat, sollte man eigentlich niemals etwas fortwerfen. Jedenfalls als Chemiker nicht. Gar zu häufig erweist sich nämlich, daß früher für unnütz, lästig oder gar schädlich angesehene Produkte in späteren Zeiten hohe Wertschätzung erlangen, ja wohl selbst das zuerst als Hauptprodukt Gewonnene in der Bedeutung überholen können. Bei den Salzlagern war das ganz deutlich festzustellen. Das zunächst begehrte Kochsalz trat, nachdem Liebig die Notwendigkeit der künstlichen Düngung aufgezeigt hatte, stark zugunsten der Förderung von zuerst fortgeworfenen Abraumsalzen, die das für die pflanzliche Zelle so wichtige Kalium enthalten, zurück. Die Monopolstellung Deutschlands auf diesem Gebiet hat sich leider nicht halten lassen. Die in deutscher Besitzzeit erbohrten elsässischen Lager machten, ebenso wie neuentdeckte in Rußland, Palästina und Syrien, dem deutschen Syndikat erhebliche Konkurrenzschwierigkeiten, so daß der auf ausländischen Märkten fortgesetzt sinkende Verkaufspreis zwang, sich nach neuen, gewinnbringenden Verwendungszwecken für den deutschen Reichtum umzusehen. Hier sind wir nämlich wirklich einmal reich zu nennen. Neben unserer Kohle bilden die Salzlager unseren Hauptaktivposten in unserem keinesfalls besonders reichhaltigen Besitz an Bodenschätzen.

Die Abraumsalze enthalten das Element Kalium in der Hauptsache an den Rest der Schwefelsäure, vor allen Dingen aber an das Element Chlor gebunden. Zuweilen tut sich auch ein Molekül des Kalisalzes mit dem eines zweiten Metalles zu einer größeren Ein-

heit zusammen. Doppelsalze nennt der Chemiker diese Stoffe. Ein berühmtes und bekanntes Beispiel dafür ist Alaun, der aus nicht weniger als 26 Molekülen — einem Aluminiumsulfat-, einem Kaliumsulfat- und 24 Wassermolekülen — aufgebaut ist. Äußerlich sieht man diesen Substanzen ihre innere Kompliziertheit gar nicht an. Auch dem Carnallit nicht, einem Abraumsalz, das neben Chlorkalium noch Chlormagnesium und sechs Wassermoleküle enthält. Für die Düngung ist nur das Element Kalium wichtig; die anderen Stoffe sind Belastung und verteuern das Produkt durch die Frachtkosten. Schon seit langem hat man infolgedessen für Carnallit und andere derartige für die Kunstdüngung mit unnötigen Stoffen belasteten Salze am Gewinnungsort Einrichtungen geschaffen, die eine Anreicherung des Kaliums in dem dem Landwirt zur Verfügung gestellten Produkt erstrebten. Dabei fielen Unmengen von gelösten Magnesiumsalzen an. Für welche die Technik nicht die mindeste Verwendung hatte, ja, deren Beiseiteschaffung die allergrößten Schwierigkeiten bereitete.

Und heute? Nachdem das Kochsalz durch die Kalisalze seine führende Stellung unter den Salzen der Steinsalzlager eingebüßt hat, muß nunmehr das Kalium, einstiges Nebenprodukt und späterer glanzvoller Sieger, seine Stellung dem verachteten Abfallprodukt, den Magnesiumabwässern und den magnesiumhaltigen Salzen, abtreten. Die bei der Verarbeitung abfallenden Endlaugen sind heute die Haupterzeugnisse dieses Bergbaues; Kochsalz, Kali und Chlor sind durch diese durchaus an die zweite Stelle gerückt worden.

Noch mehr als beim Aluminium können wir beim Bruder Magnesium von einem rein deutschen Metall sprechen. 70 % der Welterzeugung stammen aus deutschen Fabriken, und wir sind in der Lage, die Erzeugung noch gewaltig zu steigern. Vielleicht ist dieses Metall sogar dermaleinst dazu berufen, das Eisen, vielleicht auch Kupfer, Zink und Zinn als Gebrauchsmetall zu ersetzen.

Vielleicht! Denn auch hier zeigt sich wieder, daß das reine Metall, genau so wie Eisen und Aluminium, nicht den menschlichen Ansprüchen zu genügen vermag. Erst Legierungssätze entlocken den beiden Leichtmetallen Kräfte, die, schon jetzt an vielen Stellen verwendet und gemeistert, in ihrer ganzen Fülle noch gar nicht zu fassen und zu überschauen sind. Die Erfolge nur weniger Jahrzehnte, beim Magnesium sogar nur einiger Jahre, lassen einen Blick in die Zukunft tun, der für das altvertraute und seit Jahrhunderten benutzte eiserne Element nicht gerade die günstigste Prognose stellen läßt. Sollten vielleicht die jetzigen Habenichtse späterhin

die Reichen und Besitzenden werden? Sollte die Chemie nicht nur die Umwertung ihrer eigenen Produkte, nein auch diejenige ganzer Völker vornehmen können? Wäre es nicht möglich, daß späterhin Magnesium, Aluminium und Kohle die im heutigen Wirtschaftskampfe überragenden Produkte Eisen und Erdöl ablösten? Hat man überhaupt die Chemie als modernste Waffe im Völkergeschehen, nicht nur im Kriege, in ihrer gewaltigen Wirkung erfaßt? Wie die Beantwortung auch immer ausfallen möge: Deutschland kann auch hier niemals Verlierer, stets nur Gewinner sein.

Wir Heutigen können die Entwicklung nur ahnen; das Ende werden wir wohl kaum erleben. Obwohl das von größtem Interesse sein müßte, namentlich, wenn die Entwicklung den gleichen stürmischen Weiterverlauf nimmt wie bisher.

Die Technik hat schon beim Eisen gelernt, daß seine Eigenschaften durch Zusätze sich weitgehend beeinflussen lassen. Beim Magnesium und Aluminium ist das nicht anders. Magnesium ist als Werkstoff überhaupt *nur* legiert zu gebrauchen, denn die geringen Mengen, die als Blitzlichtpulver Verwendung finden, schlagen kaum zu Buch. Die hierbei auftretende Lichtentwicklung ist der hohen Verbrennungstemperatur mit seiner auf kleinem Raume entwickelten mächtigen Wärmemenge zuzuschreiben. Mit 10 % Aluminium und anderen geringen Metallzusätzen läßt sich das Metall zum *Elektron* legieren, aus dem der mit heißer, kaum zu löschender Flamme brennende Mantel der Brandbomben besteht. Derselbe Werkstoff wird wegen seiner Leichtigkeit und guten Beständigkeit jedoch vor allen Dingen überall dort benutzt, wo es sich darum handelt, Lasten zu vermindern. Der Flugzeugbau kann schon gar nicht auf Magnesium, das noch nicht ²/₃ des Aluminiumgewichtes besitzt, verzichten. Aber auch der Kraftwagenbau bedient sich des gewichtsparenden Metalls, das in den modernsten Konstruktionen sogar schon das Eisen in Kurbel- und Getriebegehäusen ersetzt. Hoffen wir im Interesse unseres Vaterlandes, daß diesem neuen, aus rein deutschen Rohstoffen gewonnenen Elemente noch ein viel, viel breiteres Verwendungsgebiet eröffnet werden mag.

Noch ist ihm das Aluminium mit mehreren Nasenlängen voraus. Dessen Siegeszug begann erst in dem Augenblick, als es dem Deutschen Wilm 1909 gelang, das Metall zu härten und ihm so eine Elastizität und Biegsamkeit zu verleihen, ihm eine derart hohe Zerreißfestigkeit mitzugeben, daß es erfolgreich mit seinem weltbeherrschenden, aber zu schweren Bruder, dem Stahl, in Konkurrenz treten konnte. Alfred Wilm hatte die Beobachtung gemacht, daß

man den mit geringen Metallzusätzen, etwa Kupfer, Magnesium, Mangan oder auch Silizium versetzten Werkstoff nach dem Erhitzen mehrere Tage lagern mußte, um ihm die gewünschten Eigenschaften abzuverlangen. Seine erste, auch heute noch im Verbrauch an vorderster Stelle stehende Legierung, das Duraluminium, konnte seine Brauchbarkeit sehr bald im Zeppelinluftschiffbau beweisen. Die dabei gesammelten Erfahrungen führten Deutschland sehr rasch an die Stelle des größten Aluminiumproduzenten der Welt. Der Erfinder hat die Früchte seiner Arbeit allerdings nicht in Ruhe genießen können; Patentstreitigkeiten haben dem Unerfahrenen den größten Teil seiner Einnahmen gekostet.

Es ist nun leider einmal so, daß jeder in der Technik verwendete Stoff neben seinen Vorteilen meistens auch große Nachteile besitzt. Beim Stahl war es neben dem hohen Gewicht die Rostbildung, die hindernd am Wege stand. Aluminiumlegierungen sind hinwiederum, nachdem wir in ihnen das langgesuchte Leichtmetall gefunden haben, sehr korrosionsempfindlich.

Über Korrosion wird heutzutage viel geredet. Verstanden wird darunter meistens ganz richtig die mehr oder weniger langsame Zerstörung des Werkstoffes. Die Ursache ist immer in der Mitwirkung des Wassers zu suchen. Dieses kann, wie im Falle des Eisens, das Metall rein chemisch in sein Oxyd überführen und es damit seinem gedachten Zweck entziehen. Die Materialverluste können dabei ganz gewaltig werden. Auch der vorbeugende Schutz, der dem Element Wasser fernhalten soll, verschlingt Unsummen. Wir sprachen schon davon.

Bei Legierungen nun bietet sich dem Wasser noch eine andersgeartete Möglichkeit, den Werkstoff unbrauchbar zu machen.

Bringt man zwei verschiedene Metallarten, etwa Zink und Kupfer, getrennt voneinander in eine Salzlösung, so fließt, wenn man die beiden Metalle mittels eines Drahtes verbindet, durch diesen ein elektrischer Strom. Was Galvani an einem darob zusammenzuckenden Froschschenkel beobachtete und Bunsen in seinem Tauchelement, in dem er das Kupfer durch die ähnlich wirkende Kohle ersetzte, zum ersten Male zur Darstellung größerer Strommengen benutzte. Das Zink geht dabei langsam in Lösung; es wird zu einem Zinksalz. Die chemische Energie wird in elektrische umgewandelt. Für das Auge sieht es so aus, als wenn das Zink verschwindet, als wenn es „zerstört" wird. Was bei einem Grundstoff natürlich nicht geschehen kann. Unsere die Verdunkelung mildernden vielbegehrten Taschenlampen, deren Batterien die gleichen Bunsenschen Elemente zur Stromerzeugung, getrennt durch

eine mit Salzlösung befeuchtete Sägespänefüllung, enthalten, haben gleichfalls nur eine recht begrenzte Lebensdauer, da das Zink allmählich „zerfressen" wird.

In einer Legierung lagern nun Moleküle verschiedenartiger Metalle dicht nebeneinander. Wird sie mit Wasser, das stets geringe Mengen fremder Stoffe enthält, benetzt, so entstehen zwischen den kleinen Metallteilchen winzige Ströme, die sicher, wenn auch langsam, den Werkstoff durch „Korrosion" zerstören.

Die Forschung legt selbstverständlich nicht die Hände in den Schoß. Durch Abwandlung der Gemengteile sucht sie die Korrosionsempfindlichkeit bei sonst gleichbleibenden oder noch besseren Eigenschaften zu mildern, wenn nicht gar ganz zu bannen. Zahlreiche neue Schöpfungen sind auf diese Weise entstanden. Mit dem Hydronalium, einer Legierung aus Aluminium mit 3 bis 12 % Magnesium, ist es sogar gelungen, eine seewasserbeständige Legierung zu schaffen.

So sehen wir denn überall in Haushalt und Technik, wie das Aluminium und seine Legierungen im Vorwärtsdringen begriffen sind. Grenzen scheinen ihm nur dort gezogen zu sein, wo Alkalien, zu denen auch Soda und Seife gehören, in särkerem Maße verwendet werden müssen.

7.

Nicht umsonst ist Deutschland der größte Aluminiumerzeuger der Welt; auch die stetig steigende Erzeugung an Magnesium hat seine guten und, wenn man von einem *Leicht*metall so reden darf, seine sehr *gewichtigen* Gründe. Gerade für unser Vaterland. Denn wir sind arm an Erzen, selbst an dem so wichtigen Eisen. Zwar sind durch die Wiedereingliederung Oberschlesiens die einst mit Gewalt genommenen wichtigen Zinkgruben und -hütten zurückgewonnen worden, so daß an diesem wichtigen Metall kein Mangel herrscht und in ruhigen Zeiten wohl gar daran gedacht werden kann, wie dermaleinst wieder als Ausfuhrland für dieses Element aufzutreten; aber in anderen ebenso nötigen Metallen, wie Kupfer, Blei, Zinn, Mangan, Nickel, Chrom, den Stahlveredlern Molybdän, Wolfram und Vanadium ebenso wie an dem flüssigen Element Quecksilber besteht ausgesprochener Mangel.

Nun ist es gar nicht einmal so, daß auf allen uns gewohnten Anwendungsgebieten das betreffende Metall unbedingt verwendet werden *muß*. Sehr häufig stellt sich nämlich bei genauen Untersuchungen heraus, daß ein anderer metallischer Vertreter viel besser geeignet ist, als der langjährig benutzte. Das liegt daran, daß man zunächst, da man das neue Metall ja noch nicht kannte, das

seinerzeit am besten geeignete Metall verwendete. Gewohnheit, die am allerschwersten zu bekämpfende Eigenschaft des Menschengeschlechtes, hat selbstverständlich naturgegebene Nachteile nicht mildern können, so daß die Hoffnung besteht, daß die besseren Eigenschaften der neuen Werkstoffe neben der nicht zu unterschätzenden größeren Preiswürdigkeit imstande sein werden, teure und seltene Metalle durch einheimische, billigere und bessere zu ersetzen, wo es irgend möglich ist.

Schon vor langen, langen Jahren sammelten wir Kinder z. B. bereits „Silberpapier", das in der Hauptsache zur Umhüllung von Schokolade, die man damals noch mehr als heute wegen der sehr beliebten Sammelbilder aus Automaten entnahm, diente. Ein findiger Mann hatte herausgefunden, daß die Hülle sehr wertvolles Material darstellte. Er gründete eine Sammelstelle und gab bekannt, daß er versuchen wolle, das Silber aus dem Stanniolpapier zu gewinnen. Für eine festgesetzte, bestimmte Menge gesammeltes und ihm zugeleitetes Material sei er bereit, eine schöne Kaffee- oder auch Teekanne, bei sehr großen Einlieferungen wohl gar ein vollständiges „Service" zurückzuliefern. Er hielt seine Versprechungen. Da log er nicht. Aber Silber gewann er nicht aus dem Stanniolpapier Da log er hinwiederum ganz bestimmt. Ihm war es vielmehr um das wertvolle Zinn zu tun, das ihm auf diese Weise recht billig geliefert wurde. Einen geringen Teil des Materials gab er dann in Form von Zuckerdose, Kaffee- oder Teekanne wieder zurück. Ich habe schon damals den geschäftstüchtigen Mann, der so viele billige Arbeitskräfte für sich einzuspannen wußte, bewundert, und meine Bewunderung ist im Laufe der Zeit nicht geringer geworden, soweit ich überhaupt imstande bin, kaufmännische Praktiken anzuerkennen.

Heute ist das an anderen Stellen viel dringender benötigte Zinn schon lange von ebensogut verwendbarer Aluminiumfolie verdrängt worden. Ich wette, daß noch nicht einmal alle Schokoladenesser das bemerkt haben. Schon eher, daß selbst die Aluminiumumhüllung, die *auch* schon wieder bessere Verwendungsmöglichkeiten gefunden hat, durch geeignete Papierarten ersetzt worden ist.

Und so wird sich noch an vielen, vielen Stellen wertvolles und seltenes Metall durch unsere einheimischen, billigen, schönen und leichten Elemente Aluminium und Magnesium oder ihre Legierungen verdrängen lassen, ohne daß wir dabei den schlechten Geschmack des Wortes „Ersatz" im Munde zu spüren brauchen.

Beide Metalle sind im scharfen Vormarsch. Aluminium wird zurzeit mehr verlangt als produziert werden kann. Namentlich in den autoritär regierten rohstoffarmen Staaten werden die Erzeugungsstätten, um die Unabhängigkeit auch auf metallurgischem Gebiete zu erringen, mit großer Beschleunigung vergrößert. Nach Deutschland schlägt jetzt auch Italien diesen Weg ein, der bald in das Freie führen kann.

Leben wir tatsächlich noch im Eisenzeitalter? Wird es abgelöst durch dasjenige der Leichtmetalle? Wer möchte diese Frage endgültig entscheiden?!

Selbstverständlich wird sich ein derartiger möglicher Wechsel nicht plötzlich und überraschend vollziehen. Wahrscheinlich wird er jedoch überhaupt nicht eintreten. Jedenfalls nicht in der Art, wie das Eisen die jetzt zur Bedeutungslosigkeit herabgeminderte Bronze verdrängt hat. Sicher werden die Leichtmetalle im stürmischen Angriff noch manche Stellungen erobern, die das Eisen, jedoch auch die übrigen Schwermetalle einnehmen. Aber neben ihnen wird sich, soweit sich das heute beurteilen läßt, das Eisen, dessen Eigenschaften sich gerade in den letzten Jahrzehnten entscheidend haben verbessern lassen, an vielen Stellen ebenso siegreich behaupten. Eisen *und* Leichtmetalle werden in nicht allzu ferner Zukunft gleich beherrschend unser Leben gestalten helfen!

7. Teil.

Stille Helfer

1.

Wenn uns jetzt Kunstharze, synthetischer Kautschuk, Zellwolle, Kunstbenzin, aus Luft gewonnene Düngemittel und anderes mehr als fertige, vom Chemiker mit viel Fleiß und Überlegung hergestellte und kaum genügend zu bewundernde Produkte entgegentreten, dann macht man sich meistens keinen rechten Begriff davon, wieviele helfende Chemikalien dazu nötig gewesen sind, um dem Enderzeugnis die gewünschte Wirkung zu verleihen. Sie bleiben meistens ungenannt, weil sie sich im Fertigfabrikat nicht vorfinden, ihm nur den Weg zur Vollendung haben bereiten helfen. Nichtsdestoweniger verbraucht die Technik jedoch riesenhafte Mengen von ihnen, und gewaltige Fabriken sind lediglich damit beschäftigt, die Nachfrage an diesen Schwerchemikalien zu befriedigen. Ja, eine dieser Verbindungen kann man sogar als den Schrittmacher der gesamten chemischen Technik ansprechen.

Es ist die Soda.

Sie ist uns kein Unbekannter. Wer allerdings meint, daß ihr allein die Mitwirkung im Haushalt bei der Reinigung und Wäsche die überragende Bedeutung verleiht, befindet sich in einem großen Irrtum. Ohne Soda gäbe es kein Glas und keine harte Seife, ja, ihre Bedeutung wird uns gerade in diesen Tagen wieder besonders ins Gedächtnis gerückt, da sie helfen soll, den aus dem Eisen schwer zu entfernenden so sehr schädlichen Schwefel zu beseitigen. *Sie* ist es auch gewesen, die im Beginn des vorigen Jahrhunderts England an die erste Stelle in der chemischen Industrie geführt hat; sie hat es allerdings auch vermocht, daß das gleiche Land, nachdem billigere Verfahren zur Sodaherstellung gefunden worden waren, in Verkennung dieser Tatsache und im Festhalten an alten, liebgewordenen Fabrikationsmethoden im jähen Absturz seine Führung an ein anderes Land, Deutschland, das seine Armut zu sorgfältigster und genauester Arbeit zwang, abtreten mußte.

Soda ist das Natriumsalz der Kohlensäure. *Alle* Salze leiten sich von Säuren ab. Diese ihrerseits haben stets Wasserstoff im Molekül gebunden. Und eben dieser Wasserstoff ist die Ursache des „Sauren". Was sonst noch, außer dem Wasserstoff, im Molekül enthalten ist, nennt man den Säurerest. Es gibt sehr scharfe — der Chemiker sagt starke — und auch recht schwache Säuren. Sie heißen nicht etwa so, weil sie sauer schmecken — obwohl das eine ganze Reihe tut —, sondern weil man früher, allerdings irrtümlich, annahm, daß stets Sauerstoff in ihnen vorhanden sein müsse. Zu den sehr starken Säuren gehören die Salpeter-, Schwefel- und Salzsäure. Schwache Vertreter der gleichen Gattung sind Essigsäure, die, verdünnt, aus diesem Grunde im Haushalt verwendet werden kann und vor allen Dingen die leicht zersetzliche Kohlensäure, deren schwach saurer Geschmack vom „Sauerbrunnen" her bekannt ist. Bei jeder passenden und nicht minder unpassenden Gelegenheit zerfällt sie in Kohlendioxyd (CO_2) und Wasser (H_2O), was an der geöffneten, sprudelnden Sauerbrunnenflasche leicht zu studieren ist. Sie muß also, wenn man richtig zusammenzählt, die molekulare Formel H_2CO_3 besitzen.

Salze enthalten immer einen Säurerest. Der Wasserstoff der Säuren ist jedoch bei ihnen durch ein Metall ersetzt.

Soda ist das Salz der Kohlensäure. Uns wird es nach dem bisher Gesagten nicht schwer fallen, ihre molekulare Beschaffenheit aufzuklären. Sie muß erstens den Rest der Kohlensäure enthalten: Das ist der zweiwertige — weil die beiden Wasserstoffatome je einwertig sind — Säurerest = CO_3. Zweitens müssen wir uns die beiden Wasserstoffatome durch Natriumatome ersetzt denken. Da Natrium ebenso wie Wasserstoff einwertig ist, müssen auch zwei Natriumatome an den Säurerest gebunden sein. Die Formel der Soda lautet somit: Na_2CO_3.

Die Soda ist schon sehr lange bekannt und wurde bereits, da ihre laugenhafte Wirkung frühzeitig auffiel, im Altertum benutzt. Ihr natürliches Vorkommen ist gar nicht einmal so sehr selten, da in vielen Gegenden der Welt, jedoch nicht in Europa, sodahaltige, riesige Seen die Chemikalie ablagern. In unserem Kontinent mußte man sich damit behelfen, sodahaltige Strand- und Seegewächse zu veraschen, um daraus das begehrte Produkt zu gewinnen. Das war natürlich ein teures Verfahren, fast so kostspielig wie die Gewinnung der in ihrer Wirkung sehr ähnlichen Pottasche, dem *Kalium*salz der Kohlensäure, die man durch Verbrennen von Holz und nachträgliches Auslaugen in Töpfen gewann. Wir Niederdeutschen nennen diese Gefäße heute noch Pötte.

Sowohl natürliches Vorkommen als auch die kümmerlichen europäischen Gewinnungsarten reichten schon am Ende des 18. Jahrhunderts nicht mehr aus, um den stetig steigenden Bedarf zu decken. Dabei gibt es das Natriummetall und den Kohlensäurerest in Hülle und Fülle. Natürlich nicht frei, sondern gebunden und da leider auch nur an andere Stoffe, nicht aneinander.

Natrium findet sich in unermeßlicher, sich nie erschöpfender Menge im Meerwasser als Kochsalz. Jetzt, nach Entdeckung der Salzlager, kann sich sogar ausnahmsweise einmal Deutschland als Krösus an diesem Stoff fühlen. Kochsalz ist das Salz der Salzsäure. Gelänge es, den Rest der Salzsäure durch denjenigen der Kohlensäure, der sich z. B. reichlich im billigen Kalk findet, zu ersetzen, so hätte man Soda. Theoretisch sehr einfach, praktisch um so schwieriger. So schwierig, daß die französische Akademie der Wissenschaften im Jahre 1775 einen Preis für die künstliche Darstellung der Soda aus Kochsalz ausschrieb.

Dem Franzosen Leblanc gelang etwa ein Jahrzehnt später der große Wurf. Ich stehe nicht an, sein Verfahren genial zu nennen.

Die im Kochsalz gebundene Salzsäure gehört zu den stärksten Vertretern ihrer Gattung. An ihre Stelle soll nun, um Soda zu gewinnen, der Rest der leider nur sehr schwachen Kohlensäure treten. Umgekehrt wäre das einfacher und bedeutete keinerlei Kunststück. Bringt man nämlich Salze der Kohlensäure, die man Karbonate nennt, mit Salzsäure zusammen, so macht diese die schwächere Kohlensäure frei, um sich selbst an deren Stelle zu setzen. Das gelingt beispielsweise auch schon mit der doch recht schwachen Essigsäure, weswegen es sich nicht gerade empfiehlt,

den Marmortisch, der aus dem Kalziumsalz der Kohlensäure besteht, mit dieser Säure zu übergießen oder zu reinigen. Wer es doch tut, darf sich nicht wundern, wenn unter Aufbrausen Kohlendioxyd entweicht und die Patte erheblich an Schönheit verliert. Der Chemiker weiß, daß *immer* die schwächere Säure der stärkeren Platz machen muß. Auch Leblanc wußte das. *Direkt* war somit niemals die Salzsäure durch den Kohlensäurerest zu ersetzen.

Leblanc wählte infolgedessen einen Umweg.

Er ersetzte erst einmal den Salzsäurerest durch den noch weit stärkeren der Schwefelsäure. Das scheint zunächst wider alle Vernunft zu sein. Aber Leblanc wußte schon, was er tat, als er Kochsalz mit konzentrierter Schwefelsäure behandelte. Es entwich dabei Salzsäure, die damals ein lästiges Nebenprodukt darstellte und dadurch, daß sie unschädlich gemacht werden mußte, den Prozeß verteuerte. Das Natrium aus dem Kochsalz band sich an den Schwefelsäurerest. Dieser ist wie derjenige der Kohlensäure zweiwertig und besteht aus einem Atom Schwefel und vier Atomen Sauerstoff, hat also abgekürzt die Zusammensetzung $= SO_4$, während das Natriumsalz die Formel Na_2SO_4 haben muß. Da man alle Salze der Schwefelsäure Sulfate nennt, heißt dieser Vertreter Natriumsulfat. Es ist schon lange bekannt und wurde früher von dem Chemiker Glauber, nach dem es auch wohl Glaubersalz genannt wird, als Abführmittel verkauft und in die Medizin eingeführt.

Die vier Sauerstoffatome kann man dem Natriumsulfat unter günstigen Bedingungen entziehen. Als Sauerstoff aufnehmendes, reduzierendes Mittel wurde wiederum Kohlenstoff verwendet. Rein rechnerisch ergibt sich, daß dann aus dem ursprünglichen Na_2SO_4 am Ende Na_2S geworden sein muß, wobei der Kohlenstoff sich natürlich in das gasförmig aus der Schmelze entweichende Kohlenmonoxyd oder wohl auch Kohlendioxyd verwandelt hat. Auch Na_2S ist das Salz einer Säure, die neben ihrem Wasserstoff den zweiwertigen Rest $= S$, der nur in Verbindungen vorkommt und keinenfalls mit elementarem Schwefel verwechselt werden darf, enthält. Die Säure selbst ist auf dem Papier aus dem Salz leicht zu rekonstruieren, wenn man jetzt umgekehrt für die beiden einwertigen Natriumatome die gleiche Anzahl Wasserstoffatome einsetzt. Diese überaus schwierige Rechnerei ergibt, daß die im Na_2S enthaltene Säure die Formel H_2S haben muß.

Das ist aber nun eine sehr schwache Säure. Sie schmeckt auch keineswegs sauer. Dafür stinkt sie aber geradezu abscheulich. Darin ist sie durchaus nicht schwach. Es muß allerdings gesagt werden, daß die menschliche Nase noch auf außerordentlich geringe Mengen dieses gasförmigen Stoffes reagiert. Sie schlägt darin sogar jeden chemischen Nachweis, kündet noch Mengen der giftigen Substanz an, wenn der Chemiker mit seinen doch gewiß sehr genauen Methoden nichts mehr feststellen kann. Vielleicht liegt das daran, daß unser Riechorgan noch aus früherem, tierhaften Dasein die große Empfindlichkeit für Schwefelwasserstoff behalten hat, da dieses Gas überall dort auftritt, wo schwefelhaltige Eiweißstoffe in Verwesung übergehen und damit für den menschlichen Genuß ungeeignet sind. Ländliche Düngerhaufen und Abortgruben strömen diesen unsympathischen Geruch ebenso aus, wie faulende Eier.

Der Schwefelwasserstoff ist, wie gesagt, eine recht schwache Säure. Sie ist sogar noch schwächer als Kohlensäure! Da nun aber der stärkere Vertreter stets den schwächeren aus seiner Verbindung freimacht, um sich an seine Stelle zu setzen, so ist *jetzt* nach der Reduktion des Natriumsulfats zu Natriumsulfid — so nennen wir Na_2S — die Möglichkeit gegeben, den Kohlensäurerest an das Natrium zu binden. Das geschieht, indem man der Schmelze Kalk hinzugibt, der seinen Säurerest dafür hergeben muß. Nach der Umsetzung wird die gebildete Soda mit Wasser ausgezogen.

Leblanc hat an seiner Erfindung nicht viel Freude gehabt. Nur wenige Jahre nach der Errichtung der ersten Sodafabrik in Frankreich zwangen ihn die französischen Revolutionäre, seine Fabrik dem „Allgemeinwohl" zur Verfügung zu stellen. Die Unfähigkeit der neuen Leitung vermochte es sehr bald, das junge Unternehmen zugrunde zu richten. Die Entschädigung, die man dem Schöpfer der Sodaindustrie versprochen hatte, ist niemals ausgezahlt worden. Als man Leblanc bitten wollte, seine Kräfte doch wieder zur Verfügung zu stellen, hatte dieser es vorgezogen, seinem Leben im Armenhause durch Erhängen ein Ende zu bereiten.

Leblanc ist der Schöpfer der ersten Großindustrie geworden. Und zwar zog England, nicht etwa Frankreich, den Nutzen aus seiner Erfindung und eroberte sich eine Vormachtstellung auf dem Gebiete der Chemie, die zunächst unangreifbar schien. Allerdings mußte Leblanc anfänglich seine Soda verschenken, da man diesem synthetischen Produkt als „Ersatzstoff" mißtraute. (Wie wenig ändern sich doch eigentlich menschliche Eigenschaften im Laufe der Zeit!) Aber bald erkannte England in dem in beliebiger Menge und gegenüber früher weit billiger zu gewinnenden Erzeugnis einen prächtigen Helfer für seine Textilindustrie, da durch die Soda sich der langwierige Bleichvorgang wesentlich abkürzen ließ. Bis heute

zieht England noch Vorteil daraus, so daß die größten Woll- und Baumwollmärkte sich nicht in den Erzeugungsländern sondern in Britannien befinden. Wenn nicht die Zellwolle dazu berufen ist, hier Wandel zu schaffen!

In der chemischen Großindustrie ist er bereits eingetreten. Denn heute wird nur noch wenig Soda nach dem Leblancverfahren hergestellt. In Deutschland ist es sogar völlig durch das billigere Verfahren des Belgiers Solvay verdrängt worden, der über Zwischenstufen, die mit Hilfe von Ammoniak, das im Kreislauf dem Prozeß immer wieder zugeführt wird, gewonnen werden, zu dem gleichen Endergebnis kommt. Im Gegensatz zu Leblanc steckte in Solvay zugleich ein glänzender Kaufmann, der es verstand, seine Erfindung zur Grundlage eines der weltbeherrschenden Konzerne zu machen.

Heute wird das Leblancverfahren nur in seinem ersten Stadium noch in der Technik benutzt. Es mutet wie ein Witz an, daß das früher als Nebenprodukt so sehr gefürchtete Salzsäuregas heute ausschließlich durch Umsetzung von Kochsalz mit Schwefelsäure erzeugt wird. Allerdings hat man es ebensosehr auf das dabei gleichzeitig entstehende Natriumsulfat abgesehen, das in der Glasindustrie noch vielfach anstatt Soda benutzt wird.

2.

Im täglichen Gebrauch sucht und schätzt man die *laugenhafte* Wirkung der Soda. Noch viel stärker wird diese durch die Lauge des Natriums selber ausgeübt. Die Natronlauge, die als „Seifenstein" schon früher einmal Erwähnung fand, wird heute von der Technik in riesenhaften Mengen verbraucht. Früher stellte man sie ausschließlich aus Soda her, die man mit der billigen Kalklauge — vielleicht ist sie besser unter dem Namen „gelöschter Kalk" bekannt — zur gewünschten Lauge des Natriums umsetzte. Heute gewinnt man sie zum großen Teil direkt aus Kochsalz mit Hilfe des elektrischen Stromes. Der ist uns schon mehrfach dabei behilflich gewesen, die Atome des Moleküls voneinander zu trennen, wie das bei der Gewinnung von Aluminium und Magnesium sehr deutlich geworden ist. Aus geschmolzenem Kochsalz läßt sich auf ganz ähnliche Weise an dem negativen Pol das metallische Natrium abscheiden. Allerdings interessiert das mehr den Theoretiker, da der Praktiker mit diesem Wildfang von Element nicht so recht etwas anzufangen weiß.

Schickt man den Strom durch eine wässerige Kochsalz*lösung*, so scheidet sich zunächst wiederum das von seinem Säurerest getrennte Natrium am negativen Pol, der Kathode, ab, während der frühere Partner im Molekül, der Rest der Salzsäure, also Chlor, mit allen Kräften zum positiven Pol strebt, um dort gasförmig zu entweichen. Das sich auf seiner Seite ansammelnde Natrium kann sich metallisch nicht in Gegenwart von Wasser halten. Da es sich ununterbrochen, jedoch nur in kleinen Mengen abscheidet, bleibt die früher beschriebene stürmische Reaktion für das Auge zwar aus, doch läuft der dort gekennzeichnete chemische Vorgang genau so ab: Ein Wasserstoffatom des Wassers wird durch das gleichwertige Natriumatom verdrängt und entweicht gasförmig, während in der sich immer mehr damit anreichernden Lösung die Natronlauge, die Verbindung des Natriums mit dem —OHrest des Wassers, zurückbleibt. Durch Eindampfen kann man dann die Lauge in fester Form gewinnen.

Auch die entweichenden Gase Wasserstoff und Chlor werden verwertet. Wasserstoff könnte, falls man keine Verwendung für ihn hätte, als unschädlich für die Umgebung einfach in die Luft entlassen werden. Für dieses Element *hat* man aber vielfachen Bedarf. Man kann es außerdem, wenn der Absatz vorübergehend stocken sollte, in Flaschen oder größeren Gasometern speichern. Mit Chlor läßt sich das nicht machen. Das ist ein gelbgrünes — daher der griechische Name —, schweres, stechend riechendes, zum Husten reizendes und in größeren Mengen tödlich wirkendes Gas, das schon viel Unheil angerichtet hat. Die Deutschen haben es im Weltkrieg zum ersten Großgasangriff benutzt, nachdem die andere Seite schon bereits seit Beginn des Krieges mit Gewehrgasgranaten und kläglichen gasgefüllten Apparaten versucht hatte, dem Kampfe eine für sie günstige Wendung zu geben. Der Erfolg des deutschen Angriffs war über alle Erwartung groß. Leider wurde er in seinem ganzen Ausmaß nicht richtig erkannt, sonst hätte in diesen Frühlingstagen des Jahres 1915 sehr leicht eine Wende zu unseren Gunsten eintreten können. Die Gelegenheit blieb ungenutzt. Das Überraschungsmoment, gegenüber dem der Feind zunächst keine Abwehrmittel besaß, war nutzlos vertan.

Die Franzosen haben uns den Vorwurf gemacht, daß wir den Gaskrieg begonnen hätten. Das stimmt nicht. Wir haben ihn nur, da der Feind bereits deutsche Schützengräben mit gasförmigen Kampfstoffen bedachte, organisiert und ins Große übersetzt. Das können wir nun allerdings besser als unser Gegner. Was der Franzose bei anderen Gelegenheiten bewundernd, wenn auch neiderfüllt, anerkennt.

Zum zweiten wirft man uns vor, daß wir einen derartig *giftigen* Stoff wie Chlor zum Bekämpfen des Gegners eingesetzt haben. Dabei wird leider verheimlicht, daß andere Gase, obwohl weniger giftig, doch viel schädlicher auf den menschlichen Organismus wirken können. Es ist schon richtig: Chlor ist *sehr* giftig. Die Dosis, die ausreicht, um einen Menschen gewaltsam von dieser Erde zu entfernen, ist nur sehr gering. Ich möchte aber einmal dasjenige Lebewesen sehen, das überhaupt imstande ist, selbst wenn es wollte, diese tödlich wirkende Menge in sich aufzunehmen. Der über die Maßen die Schleimhäute reizende stechende Geruch zwingt jeden, den Ort seiner Wirksamkeit schleunigst zu verlassen. Insofern ist das Chlor sogar ein sehr humanes Kampfmittel. Viel humaner jedenfalls, als jene heimtückischen, von der Feindbundseite zuerst verwendeten Gase, die ohne Ankündigung in die Haut oder inneren Organe dringen und so, wenn ihre Giftigkeit vielleicht auch nicht diejenige des Chlors erreicht, viel schwerer wiegende Schädigungen hervorrufen können. Daß natürlich auch Chlorvergiftungen zum Tode führen können, soll nicht bestritten werden. Normalerweise kommt es jedoch nicht dazu. Und schließlich muß man im Kriege ja mit Todesfällen rechnen.

Im Frieden nun müßte dieses Abfallsprodukt bei der Elektrolyse des Kochsalzes natürlich vernichtet werden. Besser wäre noch, die Technik könnte das gewonnene Chlor weiter zu unschädlichen, aber gesuchten Produkten verarbeiten, wie denn die chemische Industrie bei ihren Verfahren überhaupt sehr häufig gezwungen ist, der Verwertung der Nebenerzeugnisse weitgehende Beachtung zu schenken. Für Chlorprodukte finden sich leider nur wenig Verwendungsgebiete, was für den Verbraucher den Vorteil hat, daß diese Substanzen, wie etwa Chlorkalk oder das für die Streichhölzer benötigte Kaliumchlorat, sehr billig sind. In ihnen hat die Technik nämlich die Möglichkeit, das sie mit quälender Sorge belastende giftige Gas wenigstens in unschädlicher Form loszuwerden. Da der Verbrauch an diesen Substanzen aber relativ gering ist, kann Natronlauge nach dem elektrolytischen Verfahren nur soweit gewonnen werden, als sich Absatz für Chlorprodukte findet.

Natronlauge ist ein sehr stiller Helfer für mannigfache Bedürfnisse unseres Lebens. Bescheiden tritt sie meistens nach ihrer Mitwirkung bei so manchem chemischen Prozeß wieder in das Dunkel zurück, so daß sehr häufig dem fertigen Endprodukt ihre Mitwirkung gar nicht mehr anzusehen ist. Ungeheuere Mengen werden heute zur Darstellung der Zellwolle benötigt. Vielleicht erinnern wir uns, daß sie das Lösungsmittel für den Zellstoff zur Viskose

darstellt, die ja ebenso zur Kunstseidedarstellung verwendet werden kann. Auch sonst wird sie, etwa bei der Papierbereitung, zum Aufschluß des Holzes gebraucht. Die Darstellung der harten Toiletteseifen ist ihr und der Soda zu verdanken. Ohne diese beiden Chemikalien müßten wir uns mit der weichen Kalischmierseife begnügen. Zuletzt mag noch erwähnt werden, daß auch so mancher hübsche Teerfarbstoff, bei dem wir das ganz bestimmt nicht vermutet haben, der Natronlauge seine Entstehung verdankt.

Nicht immer sind die bekanntesten und im Vordergrunde des Interesses stehenden Substanzen unsere *aller* besten Freunde. Das Beispiel der Natronlauge zeigt, daß echte Freundschaft und echte Hilfe ebensogut in bescheidener Zurückgezogenheit und Stille zu finden sind.

3.

Den entschiedensten Gegensatz zu den Laugen bilden die Säuren. Jede dieser beiden Gruppen hat unter vielen Einzelvertretern ihren besonders repräsentativen, nämlich denjenigen, der am häufigsten Verwendung findet. Bei den Laugen war es die Natronlauge. Bei den Säuren ist es die Schwefelsäure.

Schwefel, von dem sich die Schwefelsäure ableitet, ist ein Stoff, der sich bei uns in elementarem Zustand so gut wie gar nicht findet. Häufig liefert ihn vulkanische Gegend, wie z. B. Sizilien. Der Hauptproduzent ist aber wieder einmal, wie könnte es wohl anders sein, die U. S. A.

Wir kennen alle dieses Element. Gelb, fest, geruch- und geschmacklos, so können wir es in Stangen-, wohl auch in Pulverform als Schwefel„blume" kaufen, um damit etwa die Läuse auf unseren Rosen oder auf den Weinreben zu vertreiben. Wir wissen auch, daß er brennbar ist. Zieht man Fäden durch das leicht schmelzende Metalloid (Metall-ähnlich), so bleibt etwas von ihm haften. Nach dem Erkalten hat man Schwefelfäden erhalten, die beim Entzünden mit schwach bläulicher, kaum sichtbarer Flamme brennen. Dabei entwickelt sich ein farbloses Gas von stark stechendem Geruch, das noch besser als der elementare Schwefel Kleinlebewesen zu töten vermag. Beim Anreißen eines Streichholzes dringt uns zuweilen das auch dort entstehende Gas in Hals und Nase, was wir mit einem Hustenreiz zu quittieren pflegen. Es ist das das Oxydationsprodukt SO_2, Schwefeldioxyd, das die Hausfrau zweckmäßig zum „Ausschwefeln" (ein häßlicher, weil falscher Ausdruck) derjenigen Gefäße benutzt, die Lebensmittel aufnehmen sollen, welche gerne von Bakterien zersetzt werden. Auch der

Weinbauer schwefelt seine Fäser vor der Benutzung aus, um die unerwünschten Lebewesen zu vernichten.

Dieses Schwefeldioxyd ist nun stets das Ausgangsmaterial für Schwefelsäure. Gottlob ist es aber nicht so, daß wir das Gas unbedingt aus elementarem Schwefel gewinnen müssen; dann wären wir wieder einmal mehr ohne ausreichende Grundlage für unsere Technik. Das tut man nur, wenn man völlig reine Schwefelsäure, wie sie etwa für die Herstellung von Medikamenten benötigt wird, bereiten will. Wie Deutschland es verstanden hat, sich aus eigenen Rohstoffen doch noch das begehrte Element selber zu verschaffen, wird auf den nächsten Seiten gezeigt werden. Denn mit den im täglichen Leben bekannten Zwecken ist die Verwendung des Metalloids bei weitem nicht erschöpft. Wenn wir z. B. nur daran denken wollen, welche gewaltigen Schwefelmengen bei der Vulkanisierung des Kautschuks verbraucht werden, wird verständlich, daß auch Deutschland einen sehr großen Bedarf hat.

Leitet man Schwefeldioxyd in Wasser, so erhält man eine Säure. Da sich immer ein Molekül SO_2 mit einem Molekül H_2O vereinigt, muß ihre Formel H_2SO_3 sein. Leider ist das nun aber noch nicht Schwefelsäure, sondern schweflige Säure, die in ihrer Struktur und in ihrem Verhalten stark der hypothetischen Kohlensäure H_2CO_3 gleicht. Wie diese ist auch sie nur in wässeriger Lösung beständig, aus der sie gerne wieder unter Abspaltung des Wassers als das stechend riechende Schwefeldioxyd entweicht. Auch Kohlensäure, die ja bei jeder Gelegenheit CO_2 freigibt, verhält sich so ähnlich. Streng genommen, kennt man beide Säuren eigentlich gar nicht, da sie sich jedem Zugriff durch Zerfall entziehen. Wir können sie nur durch ihre Wirkung und in ihren Salzen studieren. Das ist aber immer noch kein rechter Grund, um die Säuren bildenden Oxyde nun einfach Kohlensäure oder schweflige Säure zu nennen. Leider tut man das jedoch; Schwefeldioxyd wird vielfach auch schweflige Säure genannt.

Die wässerige Lösung von Schwefeldioxyd, also die richtige schweflige Säure, geht in Berührung mit Sauerstoff allmählich in Schwefelsäure, die nun ein Atom Sauerstoff mehr im Molekül enthält und somit die Formel H_2SO_4 haben muß, über. Das geht jedoch so langsam vor sich, daß sich ein technischer Prozeß nicht darauf aufbauen läßt.

Schwefelsäure, auch Vitriolöl genannt, ist eine schwere, ölige, in reinem Zustande farb- und geruchlose Flüssigkeit. Sie ist beim experimentierenden Chemiker nicht gerade allzu beliebt, da sie von einer sinnlosen Zerstörungswut befallen zu sein scheint. Diese

findet ihre Ursache darin, daß die konzentrierte Säure begierig Feuchtigkeit an sich zieht, wobei sie sich bis zum Siedepunkt des Wassers erhitzen kann. Selbst vor Stoffen, die nur die Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, in gebundener Form, also nicht etwa rein physikalisch als gelöstes Wasser enthalten, macht sie nicht Halt. Sie entzieht ihnen diese Elemente im Verhältnis 2:1, um ihren unersättlichen Durst zu stillen. Für das angegriffene Molekül bedeutet das aber seine völlige Zerstörung. Zucker, Mehl, Zellstoff, die unglücklicherweise auch noch die begehrten Grundstoffe im richtigen Verhältnis besitzen, hinterlassen nach der Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure nur noch Kohlenstoff. Wenn man den Versuch gewollt oder ungewollt mit aus Zellwolle hergestellter Kleidung unternehmen sollte, darf man sich nicht wundern, wenn sich auch noch der Kohlenstoff selbständig macht. Was hinterbleibt ist ein Nichts, ein Loch. Es gibt kaum etwas Organisches, was diesem Athleten zu widerstehen vermöchte.

Erhitzt man konzentrierte Schwefelsäure, so stößt sie weiße, stechend riechende Dämpfe aus. Bei hohen Temperaturen zerfällt nämlich das Molekül, indem es Wasser abgibt. Was übrig bleibt, ist eben dieser weiße Rauch, der, wenn wir von dem H_2SO_4 molekül H_2O richtig abziehen, die molekulare Zusammensetzung SO_3 haben muß, also ein Atom Sauerstoff mehr enthält als das farblose SO_2. Beide Oxyde sind „Säuren ohne Wasser", Säureanhydride.

Beim Verbrennen von Schwefel entsteht neben dem farblosen Hauptprodukt SO_2 auch immer etwas SO_3, Schwefeltrioxyd. Gelänge es, das Schwefeldioxyd in Schwefeltrioxyd überzuführen und dieses Molekül dann an Wasser zu binden, so täte sich ein schöner Weg für die Gewinnung von Schwefelsäure auf. Tatsächlich ist dieser Weg gangbar, wobei allerdings eine billige Quelle für Schwefeldioxyd gefunden werden müßte, da elementarer Schwefel als Ausgangsmaterial, weil viel zu teuer, nicht in Frage kommt.

Ist das Element als solches verhältnismäßig selten, so findet es sich in gebundener Form recht reichlich fast überall auf der Erde. Die Technik versteht es vor allem, den an die Schwermetalle gebundenen Schwefel für ihre Zwecke auszunutzen. Eisen, Zink, Blei, Arsen, Antimon, Silber, Kupfer und viele andere mehr binden sich gerne an das gelbe Metalloid. In Deutschland wird namentlich aus Pyrit, das ist eine Eisen-Schwefelverbindung, und Zinkblende, das ist die in Oberschlesien reichlich vorhandene entsprechende Zinkverbindung, Schwefeldioxyd gewonnen. Das geschieht in dem sogenannten Röstprozeß. Dort werden die auf „Roste" ausgebreiteten Erze im Luftstrom erhitzt. Beide Bestandteile, sowohl das Me-

tall als auch der Schwefel, gehen dabei in das Oxyd, Schwefel in das Schwefeldioxyd, über. Berichtigend muß hier allerdings vermerkt werden, daß der Röstprozeß in erster Linie der Gewinnung der Metalloxyde dient, denen man dann weiterhin, wie das beim Eisen deutlich gemacht wurde, ihren Sauerstoff zur Metallgewinnung entzieht. Was einfacher ist als der Entzug von Schwefel direkt. Schwefeldioxyd ist also nur ein Nebenprodukt. Das allerdings in ungeheuren Mengen abfällt und in die Schwefelsäurefabriken, die zweckmäßig gleich bei den Hüttenwerken errichtet werden, wandert.

Die Engländer, die erste großindustrielle Nation in Europa, haben zunächst das Schwefeldioxyd mittels der Salpetersäure, die leicht ihren Sauerstoff abgibt, in das Schwefeltrioxyd übergeführt. Heißer, in „Bleikammern" eingeblasener Wasserdampf verband sich dann mit ihm zur gesuchten Schwefelsäure, die jedoch noch konzentriert werden mußte. Bleiplatten, mit denen die Reaktionsräume ausgeschlagen werden, erwiesen sich als einziger Schutz gegen die zerstörende Kraft der entstandenen Säure. Zwar greift diese auch sogar das Blei an und führt es an der Oberfläche in das Bleisalz der Schwefelsäure, in Bleisulfat, über; aber die gebildete Verbindung wirkt nunmehr als schützende Schicht vor weiteren Angriffen. Ähnliches haben wir früher von der das Metall behütenden Oxydschicht des Aluminiums gehört. Konzentrierte Säure greift allerdings auch Bleisulfat an, weswegen die „englische" Schwefelsäure stets davon gelöst enthält. Salpetersäure ist ein sehr teures Oxydationsmittel; sie muß deshalb zurückgewonnen werden. Das gelingt auf sehr sinnreiche Art und Weise. Die Beschreibung des Verfahrens eignet sich jedoch nicht zur Darstellung im Rahmen dieser Arbeit.

Dem Bleikammerverfahren ist inzwischen das von deutschen Technikern entwickelte „Kontaktverfahren" an die Seite getreten, das von allen Industrieländern der Erde angewendet wird.

Ausgangsmaterial ist auch hier natürlich Schwefeldioxyd, das gleicherweise dem Röstofen entstammt. Ganz, ganz allmählich geht SO_2 mit Sauerstoff in SO_3 über. Das dauert freilich so lange, daß man nicht gut darauf warten kann. Nun haben wir aber schon früher wiederholt Substanzen kennen gelernt, die wahrscheinlich dadurch, daß sie die Stoffe in nähere Berührung zwingen, die Umsetzung zu beschleunigen vermögen. Das kostbare Platin, das natürlich nur in ganz feiner Verteilung, was gleichzeitig die Wirksamkeit erhöht, zur Anwendung kommt, vermag, ebenso wie das nicht weniger seltene Vanadinoxyd, die Vereinigung von Schwefel-

dioxyd mit dem billigsten zur Verfügung stehenden Oxydationsmittel, dem Luftsauerstoff, rasch zu erreichen. In Wasser geleitet, mußte das die gewünschte Schwefelsäure erbringen. Jedenfalls zeigten das die Laboratoriumsversuche. Von ihnen bis zum technisch reifen Fabrikationsprozeß ist aber meistens noch ein sehr weiter Weg. Bei der Schwefelsäuredarstellung nach dem Kontaktverfahren zeigt sich das ganz besonders deutlich.

Erze sind so gut wie niemals völlig einheitlicher Natur. Ganz abgesehen von der verunreinigenden Gangart, finden sich fast stets noch andere metallische Beimengungen darin vor. Die brauchen gar nicht einmal immer unerwünscht zu sein, wie die Gewinnung von Silber aus Bleierzen und von Gold und Silber bei der elektrolytischen Reinigung des Kupfers beweist. Meistens müssen sie jedoch vorher entfernt werden. Aus dem Röstofen entweicht ein lebhafter Gasstrom, der in der Hauptsache zwar das gewünschte Schwefeldioxyd, aber auch viel Flugstaub, außerdem aber noch das Oxyd des Arsens, das giftige weiße Arsenik, enthält. Dieses muß zu allererst, und zwar völlig entfernt werden, da Katalysatoren merkwürdigerweise gegen die gleichen Gifte empfindlich sind wie die Menschen. Beide erliegen regelrecht diesen für ihren Organismus schädlichen Substanzen und stellen kurzerhand ihre Mitwirkung bei der Lösung der uns bewegenden welterschütternden Fragen ein. Gottlob läßt sich Arsenik verhältnismäßig leicht entfernen. Leitet man nämlich den Gasstrom durch gemauerte Kanäle — den Giftfang —, wobei er sich abkühlt, so setzt sich der überflüssige Begleiter in fester Form an den Wänden ab, von denen er dann späterhin abgeklopft werden kann. Die Schwefelsäurefabriken warten noch darauf, daß man ihnen ein nützliches Verwendungsgebiet für dieses Abfallsprodukt zeigt, das nur an wenigen Stellen, etwa bei der Farbenfabrikation und in der Medizin, gebraucht wird.

Mindestens ebenso schädlich ist der vom Schwefeldioxyd mitgerissene Flugstaub, der sich auf dem Katalysator absetzt und ihn damit zur Untätigkeit verdammt; eine Erfahrung, die erst im Großbetrieb gemacht werden mußte. Man kann die größeren Teile dadurch abscheiden, daß man die Geschwindigkeit des Gasstromes in großen Kammern vermindert. Die schweren Teile sinken dann zu Boden. Meistens genügt dieses Verfahren jedoch nicht, um das Gas von allen mechanisch mitgerissenen Bestandteilen zu befreien. Das ist hier aber unbedingt nötig, wenn ein kontinuierlicher Betrieb gewährleistet sein soll.

Häufig gelingt es nun, die mitgeführten unerwünschten Begleiter durch die „Naß"reinigung aus dem Gasstrom zu entfernen. Im

Reich gilt Hamburg als eine Stadt, in der es eigentlich immer regnet. Zwar nicht viel auf einmal, aber immerfort. Wenn wir Wasserkantenbewohner auch darauf aufmerksam machen müssen, daß schon aus Gründen der Fruchtreife hin und wieder einmal die Sonne scheinen muß, so sei doch, um keinen Streit in der Volksgemeinschaft zu entfesseln, zugegeben, daß die Hansestadt eine recht starke Anziehungskraft für das himmlische Naß besitzt. Der Hamburger hat sich, zufriedenen Gemüts wie er nun einmal ist, an diesen Zustand gewöhnt, ja, sucht ihm sogar (möchten doch alle Menschen in ähnlicher Lage ebenso handeln!) gute und beste Seiten abzugewinnen. Tritt er nach dem sonntäglichen, den Ausflug verhindernden Regenguß vor die Haustür, um den davonziehenden Wolken nachzublicken, so holt er ein paar Male tief Atem, um dann zu erklären, daß die Luft wunderbar schön und rein sei. Er hat recht; denn die niederfallenden Tropfen haben alle festen Teile, die in der Großstadtluft reichlich enthalten sind, einfach niedergeschlagen und mit dem Regenwasser fortgeschwemmt.

Diese Erfahrung macht sich nun die Industrie zunutze, indem sie ihre staubhaltigen Gase einem künstlichen Regen aussetzt, sie berieselt, um sie so selbst von den letzten Partikelchen zu befreien. Allerdings hat diese Methode auch ihre Nachteile. Einmal sind recht große Räume zur Berieselung nötig, und zum anderen löst sehr häufig das Berieselungswasser von dem Hauptprodukt eine erhebliche Menge auf.

Dem vermag ein letztes und neuestes Verfahren weitgehend abzuhelfen. Bei diesem leitet man das zu reinigende Gas durch ein starkes elektrisches Feld. Dabei laden sich die mechanisch mitgerissenen Teile mit Elektrizität auf. Sie werden jetzt in einer zweiten Kammer an Drähten oder auch Platten vorbeigeführt, die mit entgegengesetzter Elektrizität beladen sind und dadurch den Staub zu sich heranziehen, ihn entladen, festhalten und damit ein von mechanisch mitgeführten Verunreinigungen völlig befreites Gas entlassen. Die zu dieser Reinigung benötigten Räume sind verhältnismäßig klein. Der Staub, dessen Menge meistenteils unterschätzt wird, wird gesammelt, da er sehr häufig noch wertvolles, wohl zu verwendendes Rohmaterial darstellt.

Nun endlich kann das getrocknete und gereinigte Gas, in unserem Falle Schwefeldioxyd, zur Reaktion gebracht werden. Mit überschüssigem Luftsauerstoff zusammen wird es dem Katalysator zugeführt, der sich in langen Röhren auf darin befindlichen Sieben ausgebreitet oder auch einfach geschichtet vorfindet. Aber dabei stellt sich eine neue Schwierigkeit ein, die in dem kleinen Maßstabe

des Laboratoriumsversuch kaum vorauszusehen war. Die Vereinigung des Sauerstoffs mit dem SO_2 zu SO_3 ist natürlich eine Oxydation. Die ist aber stets mit Wärmeabgabe verknüpft. Überläßt man die Apparatur sich selber, so wird sie sich im Laufe der Zeit immer höher und höher erhitzen. Wenn auch eine erhöhte Umsetzungstemperatur, die zwischen 400 und 500 Grad beträgt, bei diesem Prozeß vonnöten ist, so ist doch eine darüber hinausgehende Steigerung unerwünscht, da dann umgekehrt wieder ein Zerfall des gerade gebildeten Schwefeltrioxyds eintritt. Um das zu verhindern muß gekühlt werden, was zweckförmig mittels der durch die vorbereitenden Handlungen abgekühlten und nunmehr wieder zu erwärmenden Röstgase geschieht. Das hört sich wiederum alles sehr einfach an, bietet aber dennoch seine Schwierigkeiten. Der Mathematiker wird den Grund sofort verstehen, wenn ihm gesagt wird, daß die Umsetzung sich ja im Raume, also in dritter Potenz, abspielt, während die Kühlung nur an der Fläche, also in zweiter Potenz, wirken kann. Für unverbildete Gemüter möge das deutende Beispiel hinzugegeben werden, daß eine Reaktionssteigerung um das Doppelte eine achtfache, um das Dreifache gar eine siebenundzwanzigfache Wärmeabgabe zur Folge haben würde. Der Prozeß muß also außerordentlich sorgfältig „gesteuert" werden, wenn die Ausbeute nicht sehr schnell sinken soll. Dann allerdings erhält man das langumworbene Schwefeltrioxyd in jeder gewünschten Menge. Mit Wasser soll es dann — alle Laboratoriumsversuche bestätigen das — Schwefelsäure geben. Soll! Aber das Wasser ist nicht imstande, die großen Mengen des entstandenen Schwefeltrioxyds so rasch zu binden. Ein großer Teil von ihm entweicht. Was unbedingt verhindert werden muß. Schon aus Rücksichten auf den eigenen Geldbeutel, wie auch aus denen auf die Nachbarschaft, die diesem giftigen und stechend riechenden Rauch keinerlei Geschmack abgewinnen würde. Fragt sich nur noch, wie man das Schwefeltrioxyd zu seiner Pflicht, sich mit dem Wasser zu vereinigen, zwingen könnte.

Die angewandte Methode ist außerordentlich simpel, — wenn man sie kennt. Sie zu finden, war allerdings weniger einfach. Ein bißchen erinnert sie mich immer an den Fang von wilden Elefanten, der, wenn man durchaus Berichten Glauben schenken will, auf die Art erfolgt, daß man den Wildlingen ein paar gezähmte entgegenschickt, welche in ihrer Sprache vermutlich von dem wundervollen Leben bei den freundlichen Menschen erzählen und die ungezähmten Brüder damit zu bewegen wissen, ein gleiches Schicksal zu suchen. Wir wollen hier keineswegs untersuchen, ob die dressierten

Elefanten an ihren Artgenossen recht gehandelt oder sie sogar mit falschen Versprechungen geködert haben; aber wie die Nordfriesen — leider — Wildenten mit ihren zahmen Enten anlocken und fangen, so kann man, wenn man ein paar „zahme" Schwefeltrioxydmoleküle in das Wasser bringt, das neu hineingeleitete Schwefeltrioxyd dazu bringen, sich mit dem restlichen Wasser zu vereinigen. Mit anderen Worten heißt das, daß man Schwefeltrioxyd in verdünnte Schwefelsäure, nicht in reines Wasser leiten muß, um den gewünschten Erfolg zu erzielen. Ist das Wasser der verdünnten Säure verbraucht, so läßt sich durch geeigneten Wasserzufluß dafür sorgen, daß fortgesetzt konzentrierte Schwefelsäure entsteht.

Das Beispiel der Kontaktschwefelsäure zeigt, welche Schwierigkeiten zuweilen zu überwinden sind, um einen chemischen Prozeß fabrikreif zu machen. Oft gehen Jahrzehnte darüber hin, bis angewandte Arbeitskraft und Geldmittel den Einsatz lohnen. Moleküle sind keine zu verachtenden Gegner. Wer sie bekämpfen, wer sie sogar besiegen will, muß sich auf hartnäckigen Widerstand gefaßt machen.

Der Chemiker zählt die Schwefelsäure zu den Halbfabrikaten, da sie zum größten Teil weiterverarbeitet wird. Davon war schon früher die Rede. Sie ist eines der wichtigsten Erzeugnisse der anorganischen Großindustrie. Deutschland steht in der Produktion mit seinen zwei Millionen im Jahre 1937 erzeugten Tonnen hinter den U. S. A. an zweiter Stelle. Die zur Fabrikation nötigen Röstgase ließen sich jedoch nur zum kleinsten Teile aus einheimischen Rohstoffen gewinnen; neben rund 300 000 Tonnen eigenen schwefelhaltigen Erzen mußten in dem gleichen Jahre nicht weniger als eine Million Tonnen ausländischen Schwefelkieses bezogen werden, der zum größten Teil aus Spanien und Norwegen eingeführt wurde. Die schwedischen und norwegischen Erzgruben sind also nicht nur des geförderten Eisens wegen so stark umworben, sondern auch wegen des an das Schwermetall gebundenen Schwefels.

In den Fertigfabrikaten, die mit Schwefelsäure hergestellt worden sind, findet sich in den meisten Fällen nur ein Teil von ihr, nämlich der zweiwertige Säurerest = SO_4, vor. Wenn irgend möglich, muß versucht werden, diesen Rest nicht aus der mit fremdem, devisenbelastetem Material hergestellten Säure, sondern aus eigenen Rohstoffen, die den gleichen Suflatrest enthalten, für die Großtechnik zu gewinnen. Sulfate, Salze der Schwefelsäure, in denen der Wasserstoff der Säure durch Metalle ersetzt ist, gibt es auch in Deutschland eine ganze Reihe. Der Chemiker hat es verstanden, vor allen Dingen den Sulfatrest des Gipses, der im Südharz, aber

auch im Neckartal reichlich zu finden ist, für seine Zwecke zu nützen. Vor allem die Düngemittelindustrie verbraucht, bis zu $^3/_4$ der Erzeugung, Schwefelsäure. Nicht überall läßt sie sich ersetzen. Die Superphosphatfabriken werden stets die Säure als solche zur Umsetzung heranziehen müssen. Aber die gewaltigen Mengen, die früher zur Bindung des laugenhaften Ammoniaks nötig waren, lassen sich bei der Darstellung dieses Gases aus dem Stickstoff der Luft und dem Wasserstoff des Wassers völlig durch die Verwendung des rein deutschen Gesteins Gips ersetzen. Wird das durch Hochdrucksynthese gewonnene Ammoniak mit der im Betrieb anfallenden Kohlensäure und mit Gips verrührt, so entsteht das jedem Landwirt bekannte Stickstoffdüngemittel Ammoniumsulfat, von ihm selbst auch wohl kurz, aber falsch Ammoniak genannt. Rund $1^1/_2$ Millionen Tonnen verbraucht jährlich unser Boden davon, wobei etwa eine Million Tonnen synthetisch gewonnen werden. Der Rest entstammt den Gasfabriken. Als Nebenprodukt entsteht in den Rührbottichen Kalk, der von so vorzüglicher Beschaffenheit ist, daß er sich auf Zement verarbeiten läßt.

Es ist für gewöhnlich sehr schwer, sich von großen Zahlen einen rechten Begriff zu machen. Jedenfalls geht es mir so. Eine Million Tonnen Ammoniumsulfat ist gewiß eine riesenhafte Menge, die jedermann als Ergebnis deutschen Erfindergeistes und Arbeitsfleißes sicher bewundernd anerkennen wird. Ich für meine Person jedoch hätte auch schon bei 300 000 t gestaunt, bei 2 Millionen Tonnen nicht minder, weil die Zahl als solche mir wenig sagt, da mir jedwede Vergleichsmöglichkeit fehlt. Ich schlage infolgedessen vor, daß wir einmal, um uns die Produktionsziffern zu verdeutlichen, die 1 000 000 t Ammoniumsulfat in Güterwagen verladen und dann zusehen, wie lang ein aus diesen Wagen zusammengesetzter Zug denn sein wird, den wir — Kleinlichkeit sei ferne von uns! — von nur einer einzigen Lokomotive ziehen lassen wollen. In der Theorie natürlich.

Wenn angenommen wird, daß ein Güterwagen 20 t faßt, so sind für eine Million Tonnen 50 000 Wagen nötig, die, hintereinander gekoppelt, einen 500 000 m oder 500 km langen Zug bilden würden! Darunter kann ich mir schon eher etwas denken. Namentlich, wenn ich mir die Strecke als Entfernung zwischen bestimmten Orten vorstelle. Hamburg und Aachen, oder Berlin und Frankfurt am Main würden etwa, ebenso wie Lübeck und Köln, die Stationen bedeuten, in denen die Lokomotive einliefe, wenn der letzte Güterwagen den Ausgangsbahnhof verließe. Das ist die Jahresproduk-

tion eines einzigen synthetischen Produktes der deutschen chemischen Industrie.

Wo wir nun doch schon ein wenig vom Thema abgeschweift sind wollen wir gleichzeitig die Gelegenheit ergreifen, um auch die Mengen anderer wichtiger Erzeugnisse durch das handgreifliche Umladen in Güterwagen zu verdeutlichen.

Ein Zug, der das gesamte auf der Welt geförderte Petroleum aufnehmen soll, hätte schon im Jahre 1938 die Länge des — vierfachen Erdäquators, also rund 150 000 km gehabt! Heute, bei den gesteigerten Bedürfnissen, werden noch viele Wagen angehängt werden müssen. Daß er nicht weniger als 300mal länger ist als der von den Leunawerken beladene Ammoniumsulfatzug, hat der Leser sich ganz bestimmt schon selber ausgerechnet. Nur der Vollständigkeit halber schreibe ich das noch dazu. Vielleicht wird aber gerade an diesem Beispiel des endlos langen Zuges klar, wie wichtig und überragend, namentlich in Kriegszeiten, Erdöl für die Staaten ist und wie nötig es arme Schlucker unter ihnen haben, sich von unbequemer Abhängigkeit zu lösen. Gleichzeitig zeigt aber das gewählte Bild dem Vernünftigen, daß unsere so gutmütige Mutter Erde unmöglich lange Zeit imstande sein kann, den Riesenbedarf des unersättlichen und habgierigen Menschen zu befriedigen. Auch aus diesem Grunde muß versucht werden, Erdöl auf andere, synthetische Weise zu gewinnen. Wir haben früher bereits vernommen, daß dafür als Ausgangsprodukt alleine die Kohle in Frage kommen kann, von der die Erde — auch für Habenichtse wie Deutschland — erheblich mehr birgt.

Kehren wir zum eigentlichen Thema zurück.

Man hat versucht, Gips auch auf Schwefeldioxyd zu verarbeiten, um auf diese Weise die immerhin noch vielfach benötigte freie Säure darzustellen. Aus Gips, Ton, Sand und Kohle wurde im Weltkriege bereits das für die Fabriken nötige Ausgangsprodukt erzeugt, das jedoch erst durch den dabei anfallenden vorzüglichen Zement zu wirtschaftlich tragbaren Preisen zu erzeugen ist.

Es hat sogar nicht an Versuchen gefehlt, den Schwefel selbst aus dem reichlich vorhandenen Gips zu gewinnen. Im Weltkriege, da die Gestehungskosten gegenüber dem harten Verteidigungsmuß nur eine untergeordnete Rolle spielten, hat man tatsächlich auch Mittel und Wege gefunden, um das Metalloid dem Gestein zu entreißen. Späterhin mußten die Fabriken jedoch schließen, da Kosten und Energieaufwand für normale Zeiten viel zu groß waren. Das ist bedauerlich. Denn der Bedarf an elementarem Schwefel stieg von Jahr zu Jahr, da sowohl durch die Motorisierung als auch

durch den stets wachsenden Bedarf der Zellstoffabriken an Schwefelkohlenstoff gewaltige Mengen, Mengen wie man sie noch vor wenigen Jahrzehnten für geradezu phantastisch gehalten hätte, verbraucht werden. Wir wären keine Deutschen, wenn wir nicht nach Möglichkeiten suchten, dem immer drückender werdenden Zwang des Auslandsbezugs eine eigene Lösung entgegenzustellen.

Schon seit langem haben Einsichtige darauf aufmerksam gemacht, daß unser Vaterland ja eine Quelle für Schwefel habe, die nur darauf warte, ausgeschöpft zu werden. Es sind unsere Stein- und Braunkohlen. In ihnen finden sich fast alle Zersetzungsprodukte der ursprünglichen Zelle und damit auch die der schwefelhaltigen Eiweißstoffe wieder. Die machen sich bei der Gewinnung von Koks in Kokereien und Gasfabriken recht unangenehm bemerkbar, so daß man sie aus dem erzeugten Leuchtgas entfernen muß, da sie sonst zusammen mit dem Heizgas zu dem recht unbeliebten, „reizenden" (die Atmungsorgane nämlich) und giftigen Schwefeldioxyd verbrennen. Zündet man das ungereinigte Gas *nicht* an, so ist damit auch noch nicht viel gewonnen, da man dann dafür den widerlich stinkenden Geruch des Schwefelwasserstoffs, der uns von faulenden Eiern her nur zu gut bekannt ist, eintauscht.

Die Entfernung des bei dem Erhitzen der Steinkohle mit den übrigen, meistens brennbaren Gasen entstehenden Schwefelwasserstoffs hat von jeher viel Mühe und Arbeit, eine Erweiterung der Reinigungsapparatur und damit unerwünschte Kosten bereitet. Stets ist auch bisher der Schwefel in der Steinkohle als Abfallsprodukt betrachtet worden, für dessen Verwertung nur geringes Interesse bestand. Mehr als in früheren Zeiten haben wir jedoch gelernt, das Geringfügige zu schätzen; sehen wir doch auch in der Natur immer wieder, wie unsere Lehrmeisterin ihre größten Wirkungen meistenteils durch die Vielfalt des Winzigen erreicht.

Das aus den Kohlen gewonnene Heizgas enthält immerhin etwa 1 % Schwefelwasserstoff, dessen Molekül aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Schwefel besteht, also die Formel H_2S hat. Dieser Anteil ist zwar nicht sehr groß, schlägt aber bei dem Riesenverbrauch an Gas, der jährlich Milliarden von Kubikmetern beträgt, doch erheblich zu Buch. Seit längerer Zeit versucht man infolgedessen, den Schwefel aus den Koksofengasen nutzbar zu machen, was über die früheren Trockenreinigungsapparate, die den lästigen Schwefelwasserstoff entfernen sollten, nur recht unvollkommen gelang.

Es ist ja auch eigentlich widersinnig, daß Kokereien und Gasanstalten, die mit der Kohle reichlich Schwefel erhalten, doch noch

Schwefelsäure kauften, um das mit den Gasen entweichende Ammoniak zu Ammoniumsulfat zu binden, während der Schwefel der eigenen Produktion zum großen Teile in den Ascheimer wanderte. Wenn es wenigstens gelänge, das wertvolle Nebenprodukt Ammoniak an den fabrikeigenen Schwefel zu binden, wäre schon viel gewonnen. Die den Gasfabriken entstammenden 600 000 Tonnen, die sich neben der eine Million betragenden synthetischen Erzeugung wohl sehen lassen können, würden bei Verzicht auf die bindende freie Säure eine wertvolle Entlastung unserer Devisenlage bedeuten.

Schwefelwasserstoff ist brennbar. Dabei wird aus dem Wasserstoff Wasser, aus dem Schwefel Schwefeldioxyd. Die den Koksöfen entströmenden Gase enthalten in der Hauptsache die ebenfalls brennbaren Produkte Wasserstoff und Metahn. Das Kunststück ist nun, den Schwefelwasserstoff *alleine* zu seinem Oxyd zu verbrennen, ohne daß die übrigen Gase das gleiche Verlangen verspüren, obwohl sich z. B. der freie Wasserstoff unter normalen Bedingungen noch sehr viel lieber mit Sauerstoff vereinigt als sein übelriechender Vetter. Mit Hilfe eines Katalysators (Aktivkohle), der lediglich die Oxydation des Schwefelwasserstoffs fördert, wird dieser unter hinreichendem Luftzusatz zu Schwefeldioxyd verbrannt. Gemeinsam mit dem gleichfalls in Wasser löslichem Ammoniak wird dann Schwefeldioxyd in Wäschern aus dem Heizgas herausgelöst, wobei sich nach einigen komplizierteren Umsetzungen nach Ansäuern und Erhitzen Ammoniumsulfat und elementarer Schwefel bildet. Bei diesem Katasulfverfahren — der Name deutet auf den benutzten „Kata"lysator und „Sulf"ur (Schwefel) hin — gelingt es also, die Entfernung der beiden schädlichen, aber dennoch wertvollen Abfallprodukte miteinander zu kuppeln, wobei als sehr erwünschter Nebeneffekt gleichzeitig die Verbrennung der überaus giftigen Blausäure, die eine erneute Reinigung bedingen würde, zu Ammoniak und Kohlenmonoxyd erfolgt.

Eine ganze Reihe von neuen Verfahren gehen den gleichen Weg. Ebenso wichtig und wertvoll wäre es jedoch, den Schwefel in seiner elementaren Form aus den aus der Kohle entweichenden Gasen zu gewinnen auch *das* ist geglückt.

Es wurde bereits erwähnt, daß unter normalen Bedingungen der Wasserstoff sich lieber und früher mit Sauerstoff verbindet als der Schwefel. Richtet man es nun so ein, daß den schwefelhaltigen Gasen nur eine ganz geringe Menge Luft zugegeben wird, nur gerade soviel, daß sie ausreicht, den Wasserstoff, jedoch nicht den Schwefel in sein Oxyd überzuführen, und beschleunigt und lenkt

man diesen Prozeß durch die Zugabe eines aus Aktivkohle bestehenden Katalysators, — so scheidet sich tatsächlich der so heftig umworbene Schwefel als Element ab.

Trotz des lebhaft gestiegenen Bedarfs ist es schon 1940 gelungen, den Verbrauch an diesem Element aus der eigenen Rohstoffquelle zu decken, ja, wir vermögen sogar mehr davon herzustellen als die Kautschuk- und Zellwollwerke, welch letztere ihn in Form von Schwefelkohlenstoff in Zusammenarbeit mit der Natronlauge als Lösungsmittel für den Zellstoff benötigen, verbrauchen. Unser Ziel liegt jedoch noch höher.

Es wurde schon davon erzählt, daß Deutschland der zweitgrößte Erzeuger für Schwefelsäure ist. Den Rohstoff dafür, die schwefelhaltigen Erze, mußten wir zum allergrößten Teil einführen. Nur knapp ein Viertel konnte von den benötigten Mengen dem eigenen Boden abgerungen werden; die Hauptmenge mußten Spanien und Norwegen liefern.

Allerdings wahrscheinlich nicht lange mehr! Brauchen wir schon heute keinen elementaren Schwefel mehr aus fremden Ländern zu beziehen, so werden wir bei gleichbleibendem Arbeitstempo sehr bald, in nur wenigen Jahren, auch auf die Einfuhr von Schwefelerzen verzichten können.

Man soll nichts fortwerfen! Wieder einmal hat sich gezeigt, daß die Chemie mit ihren wandlungsfähigen Methoden imstande ist, durch die Verarbeitung von zunächst wertlos, schädlich und lästig erscheinenden Stoffen Werte zu schaffen, die auch fleißig und geistig hochstehenden Völkern den Platz an der Sonne erobern helfen.

Der Kampf des Chemikers ist nicht leicht, da er sich gegen einen unsichtbaren Gegner, das Molekül, richtet, dessen Widerstandskraft gar nicht überschätzt werden kann. Die erzielten Erfolge lassen aber erhoffen, daß die Angriffs- und Umsetzungsmethoden der modernen Chemie den erst jezt in ihrem Wert richtig erkannten Rohstoffen unserer mütterlichen Erde Formen verleihen werden, die *jedem* Kulturvolke seine Freiheit und Unabhängigkeit bescheren können.

Kampf mit Molekülen ist ein Kampf für ein freies Menschentum und Menschengeschlecht!

Epilog

auch wohl als Nachwort zu lesen

Die kämpferische Haltung der Chemie dürfte in den vorliegenden Zeilen genügend in Erscheinung getreten sein. Der Kampf erfordert gespannteste Bereitschaft, nie erlahmende Aufmerksamkeit und stets wandlungsfähige, neue, dem Gegner angepaßte Methoden. Auch nur das geringste Nachlassen der Energie kann den Sieg in Frage stellen, kann den Unterlegenen von gestern zum Sieger von heute machen. Das schlimmste jedoch, was einem Streiter geschehen kann, ist das Versinken in satte Behaglichkeit nach einem gewonnenen Kampfe. Das hat dem ersten großindustriellen Staate, England, seine Vormachtstellung in der Chemie gekostet. Trotz seiner ungeheuren Reichtümer, auch an Bodenschätzen, hat es diesen Platz an andere Völker abtreten müssen. Man kann nur eines sein: Entweder Kämpfer *oder* Kaufmann! England hat sich für den Kaufmann und seine nicht immer zu billigende Moral entschieden. Es darf sich nicht wundern, wenn der stürmisch erkämpfte Fortschritt über sein Inselreich hinwegschreitet.

Wer allerdings den vorangegangenen Seiten zu entnehmen glaubt, daß jetzt Deutschland als unangefochtener Herrscher die Nachfolge des Britenreiches angetreten habe, befindet sich in einem bitteren Irrtum. Gewiß, wir haben gehört, wie etwa von der Mitte des vorigen Jahrhunderts an bis in die letzte Zeit hinein deutsche Forscher und Gelehrte, deutsche Techniker und deutsche Arbeiter ihr Land hinausgeführt haben aus seiner natürlichen Armut; wie sie es verstanden haben, gerade die Kargheit zur Ursache der feinsten und scharfsinnigsten Methoden zu machen. Dadurch erreichte sehr häufig das Wertloseste den Wert der Kostbarkeit.

Aber auch andere Völker und Staaten erkannten die zeugende Kraft der Chemie. Nur in hartem und nie versagendem Ringen läßt sich eine einmal errungene Position halten. 1918 mit seinen furchtbaren Folgen brachte auch die deutsche chemische Industrie an den Rand des Abgrundes; andere Staaten, wie die U. S. A., wie die schon vor Deutschland zur Selbstbesinnung gekommenen Nationen Japan und Italien, ja, selbst das von allen so stark unterschätzte Rußland waren auf dem besten Wege, dem Besieger des Britenreiches das Schwert aus der Hand zu schlagen. Erst durch die Mobilisierung auch der letzten Kräfte durch den nationalsozialistischen Staat gelang es, der deutschen Chemie ihre überragende, oftmals angefeindete, vielfach bewunderte, doch immer beneidete

Stellung zurückzuerobern. Dieser erneute, gewaltige Aufstieg, dessen *Beginn* wir jetzt gerade alle miterleben, führte schon 1938 wieder dazu, daß nach Befriedigung unserer eigenen, nicht gerade als gering anzusehenden Bedürfnisse Deutschland mit 25 % an der Weltausfuhr von Chemikalien beteiligt war; selbst die Vereinigten Staaten von Nordamerika brachten es, ebenso wie England, nur auf 15 %.

Der Export allein ist aber, so wichtig er auch für den Eintausch lebensnotwendiger Güter ist, nicht einmal an erster Stelle zu nennen. Mehr noch hat die Chemie geholfen — und sie ist bei ihrer Arbeit noch lange nicht am Ende angelangt —, vom eigenen Volke Not und Elend abzuwenden, ihm ein Dasein zu schaffen, das, den einfachsten animalischen Funktionen entrückt, zur überlegenen Gestaltung eines vom Geist her bestimmten Lebens führen kann.

Schlagwörterverzeichnis

Im Zeitalter der Kunststoffe

Allgemeinverständliche Schilderung der Entstehung und Verwendung der Kunststoffe in Wirtschaft, Industrie und im täglichen Leben.

Von Kurt Brandenburger, berat. Ingenieur für die Kunstharzindustrie. 2. verbesserte und erweiterte Auflage 1938. 110 Seiten mit 75 Abbildungen. Kart. RM. 3.60.

„Wer sich einen schnellen und übersichtlichen Einblick in die noch junge Industrie der Kunststoffe verschaffen will, der greife zu diesem Büchlein."
(Die Räder, Berlin.)

„Hier schuf ein Fachmann ein Werk aus einem Guß, das uns wie ein spannender Roman von der ersten bis zur letzten Seite fesselt. Dabei sind seine Ausführungen so klar und seine Sprache so einfach, daß jeder Laie sie ohne weiteres versteht. Die ausgezeichneten Aufnahmen, die dem kleinen Werk beigegeben sind, tragen das ihre dazu bei, das Verständnis für die geschilderten Stoffe zu vertiefen."
(Der Chemiewerker, Berlin.)

„Hier erweist sich, wie souverän Brandenburger wirklich den Stoff beherrscht, denn dieses ganze Buch ist trotz des teilweise schwierigen Stoffes so flüssig, beinahe unwissenschaftlich geschrieben, daß es sich fast wie ein Roman liest. Nur wer ein bißchen eingeweiht ist, erkennt hinter diesem plaudernden Ton die sorgfältige Bearbeitung und das umfassende Wissen, das notwendig war, um diesen wirklich abgerundeten Überblick über Entwicklung und Stand der Kunststoffe zu geben."
(Technische Rundschau des Berliner Tageblattes.)

„Besonders wertvoll sind die sehr gut ausgeführten Abbildungen, die gerade dem Laien eine Vorstellung von dem unerhört reichhaltigen Anwendungsgebiet der Kunststoffe vermitteln."
(Deutsche Allgemeine Zeitung, Berlin.)

Von dem gleichen Verfasser erschien:

Herstellung und Verarbeitung von Kunstharzpressmassen

Ein Handbuch für die Praxis.

2., völlig veränderte und verbesserte Auflage in einem Band, 1938. 350 Seiten mit 360 Abbildungen. Geh. RM. 20.—, Lwd. RM. 22.—.

Aus den Urteilen:

„Das vorliegende Buch des bekannten Kunststoff-Fachmanns ist das Standardwerk der deutschen Kunststoffindustrie. In erster Linie für den Praktiker bestimmt, zeichnet es sich durch klare und flüssige Darstellung aus. Die zahlreichen beigegebenen guten Abbildungen erhöhen die Anschaulichkeit und fördern vielfach das Verständnis in vollkommenster Weise. Die drucktechnische Ausführung und neuartige Zusammenfassung zu einem Band dürfen allseitig Beifall und Anerkennung finden."
(Die Chemische Fabrik.)

Deutschlands Kampf um seine Rohstoffe

Von Prof. Dr. M. Hessenland. 4. ergänzte und verbesserte Auflage in Vorbereitung. 198 Seiten mit 20 Abbildungen. Kart. RM. etwa 3.20, Lwd. etwa RM. 4.20.

„Das Buch ist leichtverständlich geschrieben, und seine systematische Klarheit und Übersichtlichkeit erschließt auch dem Laien unschwer die Fülle der Probleme." *(Essener Allgemeine Zeitung.)*

„Es ist ein in einem klaren, lebendigen Stil, der den erfahrenen und geistvollen Hochschullehrer zeigt, geschriebenes Werk, wohl die erste wirklich allgemeinverständlich gehaltene und darum gerade zur Aufklärung aller Volksgenossen geeignete Bearbeitung des deutschen Kampfes um seine Rohstoffe, — ein schönes, durchsichtiges, mit Herz und Verstand zugleich geschriebenes Werk." *(Die Umschau.)*

Deutsche Physik

Von Geh.-Rat Prof. Dr. Philipp Lenard, Heidelberg.
2. Auflage, 1938—1941.

Bd. 1: Einleitung und Mechanik. 247 S. mit 113 Abb., geh. RM. 8.80, Lwd. RM. 10.—. Bd. 2: Akustik und Wärmelehre. 271 S. mit 88 Abb., geh. RM. 7.80, Lwd. RM. 9.—. Bd. 3: Optik und Elektrizitätslehre, Teil 1. 290 S. mit 115 Abb., geh. RM. 8.20, Lwd. RM. 9.40. Bd. 4: Elektrizitätslehre, Teil 2. 319 S. mit 123 Abb., geh. RM. 8.80, Lwd. RM. 10.—.

„Diese Physik wird bewußt der jüdischen Physik gegenübergestellt, die jede durch Rechenkunststücke verdeckte Vermutung, die sich nachher nicht ganz verfehlt zeigt, als einen Markstein des Fortschritts der Naturerkenntnis wertet, während der deutsche Volksgeist nach Tiefe, nach widerspruchsfreien Grundlagen des Denkens mit der Natur, nach einwandfreier Kenntnis des Weltganzen sucht. So legt der Verfasser den größten Wert auf überzeugenden Nachweis der Sicherung der Kenntnisse, und er gibt ihn durch Darlegung des Weges, auf dem die Kenntnis aus Naturbeobachtungen gewonnen war."
(Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaft Heft 7/1936.)

Praktische Bodenkunde

Von Dr. Richard Fabry, Studienrat in München-Pasing. In Zusammenarbeit mit Dr. Josef Schnell, Stellv. Leiter des Landwirtschaftlichen Untersuchungsamtes München. Mit 65 Textabbildungen und 4 farbigen Tafeln. Preis geh. RM. 7.60, in Leinen RM. 8.80.

Der Boden trägt die Wiese, den Wald und das Korn. Aber: was ist ein guter Wiesen-, Wald- und Getreideboden? Warum ist der Ertrag des einen Bodens besser, der des anderen schlechter? Wie erkennt man Bodenart und Bodenzustand, auch die Ertragsfähigkeit verschieden gearteter und gelagerter Böden? Welche wesentlichen Beziehungen bestehen zwischen Boden und Pflanze, Boden und Ortslage, Boden und Klima? Welche Maßnahmen müssen getroffen werden, um einen in Kultur befindlichen Boden in gutem Zustand zu erhalten; welche Maßnahmen, um einen schlechten Bodenzustand zu verbessern? Alle diese Fragen beantwortet der Verfasser in seinem Buch und hilft dem Leser, die gewonnenen Einsichten in der Praxis zu verwerten. Der besondere Zweck des Buches ist es, die Grundlagen für die neu eingeführten bodenkundlichen Arbeitsgemeinschaften der Schule zu geben.

Praktikum der gewerblichen Chemie

Von Dr. Max Hessenland, o. Professor für chemische Technologie
und Warenkunde an der Handelshochschule Königsberg i. Pr.
2., verbesserte Auflage 1941. 322 Seiten mit 55 Abbildungen.
Lwd. RM. 14.—.

„Das Buch ist eine gute Anleitung zum Arbeiten im Laboratorium. Es
berücksichtigt gewerblich wichtige Stoffe, ist also bestimmt, dem danach
Arbeitenden eine praktische Kenntnis der verschiedensten Stoffe und nicht
nur rein chemisches Wissen zu vermitteln. Es füllt damit eine Lücke, die
in der allgemein benutzten Bücherei des Chemie-Studierenden besteht. Im
allgemeinen ist hohe Wissenschaftlichkeit selten mit jenen praktischen
Kenntnissen verbunden, die im Leben des Chemikers wünschenswert sind.
Das Buch ist deshalb auch für den älteren Chemiker als angenehme Lek-
türe zur Auffrischung und Erweiterung bestehender Kenntnisse zu emp-
fehlen." *(Kunstharze und Plastische Massen.)*

„Die sehr übersichtliche, durch zahlreiche lehrreiche Abbildungen unter-
stützte klare Wiedergabe des Stoffes und die Vielseitigkeit des Inhalts
machen das Buch zu dem, wozu es der Verfasser geschaffen hat, nämlich zu
einem Werkzeug für Studierende, welche die Chemie aus praktischen Grün-
den, d. h. der Wirtschaft oder des Lehrfaches wegen erlernen wollen. . . .
Das Buch bietet aber auch dem wissenschaftlichen Chemiker, sowie allen,
denen das Gebiet der Chemie naheliegt, und die sich in ihm unterrichten
wollen, viel lehrreiche Aufschlüsse und Anregungen." *(Archiv der Pharmazie.)*

„. . . Das Buch kann als eine sehr glückliche Lösung der Aufgabe be-
trachtet werden, den Praktiker in die technische Chemie einzuführen. Es
ist wissenschaftlich einwandfrei und dazu anregend geschrieben. . . . Es
will nicht Sonderkenntnisse vermitteln, sondern einen Einblick in das
Wesen der praktischen Chemie, und dazu ist es ganz vortrefflich geeignet...
Das etwa 2000 Hinweise umfassende Namen- und Schlagwörterverzeichnis
erleichtert den Gebrauch des Buches, das auch wegen seiner guten Aus-
stattung empfohlen werden kann." *(Farben-Zeitung.)*

„Das Buch ist nicht bestimmt, um Fachmänner auf den einzelnen Ge-
bieten auszubilden, aber es ist wunderbar dazu geeignet, dem Wißbegieri-
gen, dem Industriekaufmann, dem an chemischen Fragen interessierten
Studenten usw. auf viele Fragen Auskunft zu geben. Als Chemielehrbuch
mit Neigung mehr nach der praktischen Seite ist es hervorragend geeignet."
(Der Farben-Chemiker.)

J. F. Lehmanns Verlag / München 15

Große Naturforscher

Eine Geschichte der Naturforschung in Lebensbeschreibungen.
Von Geh. Rat Prof. Dr. Philipp Lenard, Heidelberg.
3., vermehrte Auflage. 344 Seiten mit 70 z. T. neuen Abbildungen.
Geh. RM. 8.—, Lwd. RM. 9.60.

„Wie packend führt uns Lenard die Forschungsergebnisse einzelner
Naturforscher vor Augen! Ob wir das fesselnde Kapitel über Bunsen und
Kirchhoff und den Entwicklungsgang der Spektralanalyse lesen, die wunder-
volle Abhandlung über Newton, die Schilderung von Julius Robert Mayers
Lebensgang oder Heinrich Hertz' Versuche mit elektrischen Wellen —
immer bezwingt uns Lenards seltene Kunst, uns Leben, Arbeit und Geistes-
gut der großen Forscher zum Erlebnis zu gestalten. Das Werk stellt eine
Ideengeschichte der naturwissenschaftlichen Forschung von solcher Tiefe
und Eigenart dar, daß wir ihm nichts Ähnliches an die Seite zu stellen
haben." *(Volk und Heimat.)*

Der Kreislauf der Stoffe in der Natur

Von Prof. Dr. med. et phil. A. Hahn, München.
104 Seiten mit 17 Abbildungen. Kart. RM. 2.60.

Die Physiologie des Menschen, der Tiere und der Pflanzen gehört zu
den Wissensgebieten, die man während der Schulzeit nicht oder nur ganz
unvollkommen zu lernen Gelegenheit hat. Aber nicht nur der Fachmann,
sondern jeder der im praktischen Leben steht, braucht diese Kenntnisse,
der Arzt, der Apotheker, der Chemiker, der Landwirt, der Lehrer ebenso
wie der Volkswirt und der Verwaltungsbeamte oder Richter. Das vor-
liegende Büchlein ist so gehalten, daß es für jeden naturwissenschaftlich
etwas vorgebildeten Laien verständlich ist. Es umfaßt folgende Abschnitte:
Die Entstehung der Nahrungsstoffe in der Pflanze / Die Vorbereitung der
Nahrungsstoffe vor der Verarbeitung durch die Zellen (Allgemeine Physio-
logie der Verdauung) / Der Abbau der Nahrungsstoffe in den Zellen höhe-
rer und niederer Organismen / Der Stoffumsatz durch Mikroorganismen
(Fäulnis, Verwesung, Gärung, Nitrifikation) / Der Kreislauf der Elemente
in der Natur und die energetischen Verhältnisse hierbei. — Wer das Buch
durcharbeitet, hat die Gewähr, daß er gute Grundvorstellungen über die
heute so wichtigen Fragen der Ernährungswirtschaft erwirbt.

Instinkt und Entwicklung

Von Prof. Dr. R. Demoll, München.
80 Seiten. Geh. RM. 2.—, Lwd. RM. 3.—.

„Verfasser führt uns in die Welt des seltsamen und oft unerklärbaren
Treibens der Insekten. Eine neue Weltordnung scheint uns hier entgegen-
zutreten, eine höchste Zweckmäßigkeit des Tuns, ein Leben aus Instinkt.
Das Buch ist nicht nur dem Fachmann wegen der hier erstmalig nieder-
gelegten neuen Auffassung über den Instinkt von besonderer Bedeutung,
sondern es bietet vor allem dem nicht wissenschaftlich vorgebildeten Leser
und Naturfreund Einblick in ein Stück Natur. *(Der Biologe.)*

J. F. Lehmanns Verlag / München 15

Wertvolle Handbücher für den Kunststoff-Fachmann.

Fortschritte der Chemie, Physik und Technik der makromolekularen Stoffe

Unter Mitarbeit hervorragender Fachleute aus Wissenschaft und Praxis herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Röhrs, Direktor des Instituts für Kunststoffe und Anstrichforschung an der Techn. Hochschule Berlin (Technischer Teil), Prof. Dr. Hermann Staudinger, Direktor des Chem. Laboratoriums der Universität Freiburg i. Br. (Chemischer Teil), Prof. Dr. Richard Vieweg, Direktor des Instituts für techn. Physik der Techn. Hochschule Darmstadt (Physikalischer Teil).

I. Band 1939. 322 S. m. 133 Abb. u. 20 Zahlent. Geh. 23.40, Geb. 25.— RM.

II. Band 1942. 412 S. m. 168 Abb. u. 53 Zahlent. Geh. 28.60, Geb. 30.— RM.

„Die Beiträge behandeln durchweg den neuesten Stand der Erkenntnis und Anwendung. Sie sind bei aller Kürze sehr inhaltreich, verständlich, klar und sehr lesbar.“ *(Kunststoffe.)*

Kunstharze
Chemismus, Wesen und Eigenschaften

Von Prof. Dr. Hans Wagner, Leiter des Forschungsinstituts für Farbentechnik an der Württemb. Staatl. Kunstgewerbeschule, Dozent an der Techn. Hochschule Stuttgart. Unter Mitarbeit von Dr. H. F. Sarx, Wien. 186 S. mit 16 Abb. und 4 farb. Tafeln.

Preis: Geh. 9.—, Geb. 10.40 RM.

Eine erschöpfende, aber trotzdem knappe Darstellung des gesamten Gebietes der Kunstharze, die insbesondere auf alle praktischen Fragen eingeht.

Die bewährten Handbücher von Oberreg.-Rat Dr. Oskar Kausch:

Handbuch der Azetylzellulosen

Herstellung, Eigenschaften und Verwendung

275 Seiten mit etwa 1300 Patentberichten. 1933. Mit 12 Abbildungen.
Geh. RM. 20.—, Lwd. RM. 22.—.

„Wohldurchdachte Ordnung und übersichtliche, sachliche Darstellung in knapper Fassung machen das Buch zu einem unentbehrlichen, stets mit Erfolg zu benutzenden Universal-Nachschlagewerk.“ *(Kunststoffe.)*

Handbuch der künstlichen plastischen Massen

Herstellung und Eigenschaften künstlicher plastischer Massen und ihre Verwendung zu industriellen Zwecken. Systematische Patentübersicht. 2., neubearbeitete Auflage 1939. 584 Seiten mit etwa 3000 Patentberichten. Geh. RM 28.—, Lwd. RM. 30.—.

„Das Buch ist für jede Kunststoff-Fabrik und für jeden Patentanwalt — in der ganzen Welt — als tägliches Nachschlagewerk unentbehrlich.“ *(Kunststoff-Technik und Kunststoff-Anwendung.)*

Illustrierter Sonder-Prospekt kostenlos!

J. F. Lehmanns Verlag / München 15